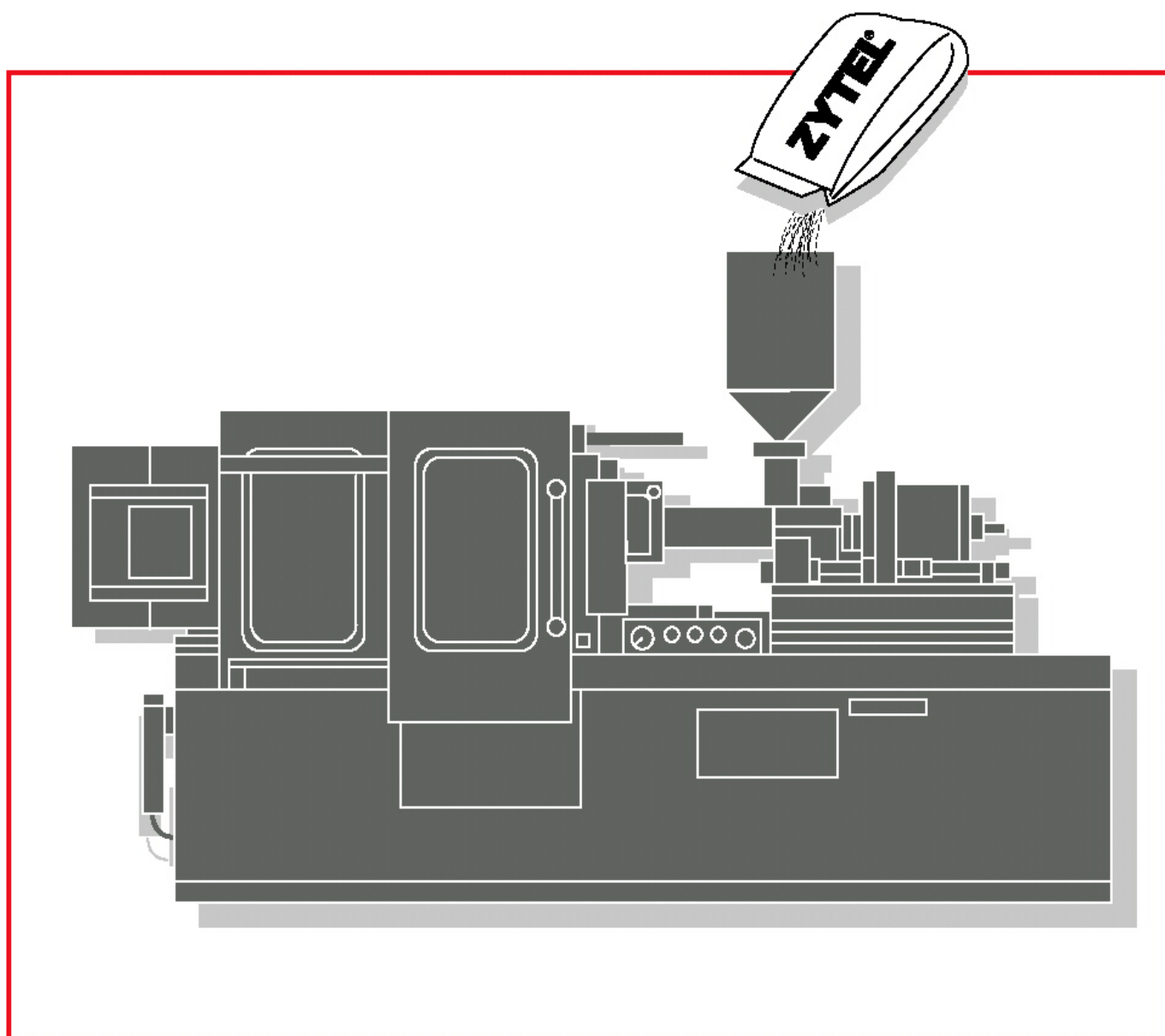




Tworzywa poliamidowe

Poradnik przetwórstwa wtryskowego tworzyw Minlon® i Zytel® firmy DuPont



Zacznij
z DuPont

Spis treści

Część I

	Strona		Strona
1. Wprowadzenie.....	1	5. Konstrukcja formy wtryskowej.....	19
1.1 Środki ostrożności.....	1	5.1 Materiał formy wtryskowej.....	19
2. Własności płynięcia.....	3	5.2 Systemy kanałów doprowadzających.....	19
2.1 Struktura tworzywa.....	3	5.2.1 Kanały wlewowe.....	19
2.1.1 Krystaliczność.....	3	5.2.2 Kanały doprowadzające.....	19
2.1.2 Zmiany objętościowe.....	3	5.2.3 Przewężki.....	20
2.2 Wymagania cieplne.....	3	5.3 Odpowietrzanie.....	21
2.3 Lepkość tworzywa stopionego.....	4	5.4 Podcięcia i zbieżności.....	22
2.3.1 Zależność lepkości w stanie ciekłym od temperatury.....	4	5.5 Regulacja układu chłodzenia w formie.....	22
2.3.2 Zależność lepkości w stanie ciekłym od prędkości ścinania.....	4	5.6 Formy z gorącymi kanałami.....	22
2.3.3 Zależność lepkości w stanie ciekłym od wilgotności.....	5	6. Warunki przetwarzania wtryskowego.....	25
2.3.4 Lepkość względna (RV).....	5	6.1 Temperatura stopionego tworzywa.....	25
2.3.5 Temperatura topnienia i punkt topnienia.....	5	6.2 Rozkład temperatur w cylindrze.....	25
2.4 Płynność stopionego tworzywa.....	5	6.3 Temperatura dyszy.....	25
2.5 Stabilność płynności tworzywa.....	6	6.4 Prędkość i ciśnienie wtrysku.....	26
2.5.1 Hydroliza.....	6	6.4.1 Dynamiczny spadek ciśnienia (DPD).....	27
2.5.2 Degradacja termiczna.....	6	6.5 Ciśnienie docisku i czas docisku.....	27
2.6 Określenie charakterystyki stopionego tworzywa przy pomocy form oprzyrządowanych.....	6	6.5.1 Ciśnienie docisku (HP).....	27
3. Sposób postępowania z tworzywem.....	8	6.5.2 Czas docisku (HPT).....	27
3.1 Wysyłka tworzywa.....	8	6.6 Prędkość obrotowa ślimaka i ciśnienie spiętrzania.....	28
3.1.1 Fizyczna postać tworzywa.....	8	6.7 Dekompresja.....	29
3.1.2 Pakowanie.....	8	6.8 Temperatura formy.....	29
3.2 Sposób postępowania z tworzywami poliamidowymi.....	8	6.9 Czas chłodzenia.....	30
3.2.1 Magazynowanie.....	8	6.10 Uwalnianie wyprasek z formy.....	30
3.2.2 Sposób postępowania z tworzywem pierwotnym.....	8	7. Obsługa wtryskarki.....	31
3.2.3 Ponowne przetwarzanie.....	8	7.1 Uruchomienie.....	31
3.2.4 Pozbywanie się odpadów.....	10	7.2 Przerwanie cyklu.....	31
3.3 Wpływ wilgoci.....	10	7.3 Wyłączenie.....	31
3.4 Suszenie.....	10	7.4 Czyszczenie.....	31
3.5 Barwienie.....	11	8. Rozważania dotyczące wymiarów wyprasek podczas formowania i po jego zakończeniu.....	32
3.6 Kontrola jakości.....	12	8.1 Skurcz wypraski.....	32
3.6.1 Parametry tworzyw.....	12	8.2 Wpływ absorpcji wody na wymiary.....	33
3.6.2 Wymagania wobec wyprasek.....	12	8.3 Skurcz wtórny.....	34
4. Wtryskarka.....	14	8.4 Wypaczenia.....	34
4.1 Wymagania stawiane maszynie.....	14	8.5 Tolerancja wyprasek.....	34
4.2 Konstrukcja maszyny.....	14		
4.2.1 Gardziel leja zasypowego.....	15		
4.2.2 Cylinder.....	15		
4.2.3 Konstrukcja ślimaka.....	16		
4.2.4 Zawór zwrotny.....	17		
4.2.5 Dysza.....	17		
4.2.6 Dysza samozamykająca.....	17		
4.2.7 Eliminacja stref zalegania tworzywa.....	18		
4.3 Obsługa i bezpieczeństwo pracy.....	18		
		Część II	
		Warunki przetwórstwa tworzyw MINLON® i ZYTEL®	

1. Wprowadzenie

Niniejszy poradnik składa się z dwóch części. W pierwszej przedstawiono zwięźle proces wtryskowego formowania poliamidów, a jego celem jest umożliwienie lepszego zrozumienia zjawisk zachodzących w czasie tego procesu. Wskazówki dotyczące zjawiska krystalizacji i stosowanej technologii są tak pomyślane, by porównać różnorodne cechy różnych rodzin poliamidów, nie zaś stanowić gruntowną analizę poszczególnych gatunków tworzyw. Podział rodziny poliamidów wyjaśniony jest w punkcie „Wtryskowe formowanie poliamidów”.

W części drugiej znajdują się tabele zawierające najważniejsze parametry przetwórstwa, których stosowanie jest zalecane w procesie formowania wtryskowego. Zamieszczono pełny wykaz tworzyw poliamidowych produkowanych przez koncern DuPont.

Wtryskowe formowanie poliamidów

Pomimo, że tworzywa poliamidowe MINLON® i ZYTEL® są przetwarzane wtryskowo od ponad 50 lat, to wciąż pierwszoplanowym zagadnieniem pozostaje taka optymalizacja warunków przetwórstwa, by w pełni wykorzystać właściwości tych tworzyw. Skrótno można powiedzieć, że proces przetwórstwa składa się z następujących etapów: podgrzania i stopienia granulatu, przetłoczenia ciekłego tworzywa do formy i utrzymania go w niej aż do momentu skryształizowania.

Każda z odmian poliamidu posiada charakterystyczne dla siebie cechy technologiczne, które muszą być wzięte pod uwagę i zrozumiane zanim możliwe będzie wyprodukowanie z tworzywa detali spełniających stawiane wymagania jakościowe. Warunki przetwórstwa mają istotny wpływ na takie parametry jakościowe jak wytrzymałość na linii łączenia tworzywa, wygląd powierzchni i powtarzalność wymiarów. Optymalne warunki przetwórstwa dla danego gatunku tworzywa są wyznaczone przez kombinację cech użytych polimerów i ich modyfikatorów oraz dodatków posiadających odrębną charakterystykę topnienia.

Zrozumienie własności płynięcia tworzywa pomaga w zrozumieniu wpływu zmian parametrów przetwórstwa na jakość wytwarzanych detali. Ten aspekt problemu jest omówiony w punkcie 2.

Wiele z zaleceń znajdujących się w tej broszurze ma zastosowanie wobec większości poliamidów produkowanych przez koncern DuPont. W dążeniu do uproszczenia zasad formowania i ułatwienia czytania tychże, gatunki tworzyw podzielono na naturalne grupy.

Rodzina poliamidów DuPont

Tworzywa poliamidowe ZYTEL® i MINLON® dzielą się pod względem składu chemicznego na grupy:

- Poliamid 66
- Poliamid 6
- Poliamid 66/6 kopolimer

- Poliamid 66 + 6 (blend)
- Poliamid 612
- Przezroczysty poliamid amorficzny

Główne cechy poliamidu to:

- wysoka wytrzymałość mechaniczna
- doskonała równowaga między sztywnością a wytrzymałością
- dobre własności w wysokich temperaturach
- dobre własności elektryczne i niepalność
- dobra odporność na ścieranie i oddziaływania chemiczne

Własności takie jak temperatura topnienia, absorpcja wilgoci i moduł sprężystości zależą przede wszystkim od rodzaju poliamidu. Masa cząsteczkowa poliamidu decyduje o jego lepkości po stopieniu oraz o odporności udarowej.

Poliamidy można także łatwo modyfikować i wzmacniać, tworząc w ten sposób całą gamę produktów o właściwościach dopasowanych do konkretnych zastosowań i potrzeb użytkowników.

W skład głównych „rodzin” poliamidów ZYTEL® opisanych w tym poradniku wchodzi:

- poliamidy niewzmocnione
- poliamidy wytrzymałe i superwytrzymałe
- poliamidy wzmocnione włóknem szklanym
- poliamidy wzmocnione mineralnie
- poliamidy wzmocnione mineralnie i włóknem szklanym
- poliamidy niepalne
- poliamidy o wysokiej lepkości / do wytłaczania
- poliamidy specjalne

1.1 Środki ostrożności

Podobnie jak w przypadku większości tworzyw termoplastycznych, przetwórstwo wtryskowe wzmocnionych włóknem szklanym tworzyw ZYTEL® i MINLON® jest zasadniczo bezpiecznym procesem. Zasady dobrej praktyki inżynierskiej nakazują wzięcie pod uwagę następujących zagrożeń:

- Efekty termiczne
- Ulatnianie się gazów i cząsteczek
- Możliwość poślizgnięcia na rozsypanych granulkach

1.1.1 Efekty termiczne

Zetknięcie się skóry z roztopionym, wzmocnionym włóknem szklanym tworzywem ZYTEL® lub MINLON® może spowodować poważne poparzenia. Sytuacja taka może mieć miejsce wówczas, gdy gazy spowodują wzrost ciśnienia w cylindrze wtryskarki, a następnie gwałtownie wyrzucą roztopiony polimer przez dyszę lub lej.

W celu zminimalizowania prawdopodobieństwa zaistnienia zagrożenia należy ściśle przestrzegać zaleceń znajdujących się w niniejszym poradniku. Potencjalne zagrożenia muszą być przewidziane i albo wyeliminowane albo zneutralizowane dzięki stosowaniu odpowiednio

opracowanych procedur oraz użyciu właściwego sprzętu i odzieży ochronnej.

Nie można dopuścić do tego, by rozgrzane do temperatury topnienia tworzywo przebywało w maszynie dłużej niż 15 minut. Gdyby do takiej sytuacji doszło, np. w wyniku przerwania cyklu technologicznego, to konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności podczas odgazowywania. Prosimy o zwrócenie szczególnej uwagi na punkt 4 „Wtryskarka”.

Podczas końcowego opróżniania cylindra pompa wysokiej wydajności (wspomagająca) musi być wyłączona, a osłona dyszy umieszczona we właściwym miejscu. Ciśnienie wtrysku należy zredukować, a następnie kilkakrotnie, na chwilę wcisnąć przycisk wtrysku w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa uwięzienia w cylindrze gazu, który mógłby spowodować rozpryskiwanie stopionego tworzywa. Przewód odgazowujący należy umieścić w pojemniku z wodą – ograniczy to intensywność gazowania i wydzielania zapachów.

Jeżeli w którymkolwiek momencie zaistnieje podejrzenie rozkładu tworzywa, to należy założyć osłonę dyszy, dyszę wycofać z formy, a następnie obrócić ślimak w celu opróżnienia cylindra. Gdy ślimak zacznie się obracać, gardziel leja zasypowego należy zamknąć, a następnie wprowadzić odpowiedni środek czyszczący (polietylen o wysokiej gęstości). W następnej kolejności można przystąpić do stopniowego obniżania temperatury i wyłączenia wtryskarki. Dalsze, szczegółowe informacje są podane w punkcie „Czyszczenie”, w punkcie 4 „Wtryskarka”.

Jeżeli impulsowe włączanie wtrysku oraz obrót ślimaka nie wywołują wypływu stopionego tworzywa, to prawdopodobnie doszło do zatkania dyszy. W takiej sytuacji należy wyłączyć ogrzewanie cylindra i podjąć działania wynikające z przyjętych zasad bezpieczeństwa. Zawsze należy być przygotowanym na obecność sprężonego gazu za dyszą i na możliwość jego niespodziewanego uwolnienia. W takich okolicznościach konieczne jest korzystanie z długich rękawic ochronnych i osłony twarzy. Przed wznowieniem pracy należy określić przyczynę rozkładu (degradacji) tworzywa biorąc pod uwagę zarówno czynniki materiałowe jak i parametry pracy wtryskarki.

Gdyby doszło do zetknięcia się roztopionego polimeru ze skórą, to miejsce oparzenia należy natychmiast ochłodzić zimną wodą lub lodem, a następnie wezwać lekarza specjalistę d/s oparzeń. Nie wolno podejmować prób usunięcia polimeru ze skóry. Wskazówki dotyczące postępowania w takiej sytuacji znaleźć można w „Arkuszu danych bezpieczeństwa materiału” (MSDS). W celu uzyskania dalszych informacji prosimy o kontakt pod numerami telefonów wskazanymi w arkuszu MSDS.

Ze względu na to, że wzmacniane włóknem szklanym tworzywa ZYTEL® i MINLON® są suszone w wysokiej temperaturze, dotknięcie gorących lejów, pieców i przewodów powietrznych może być przyczyną poważnych oparzeń. Założenie izolacji termicznej na te elementy

zmniejszy prawdopodobieństwo zaistnienia takiego wypadku.

1.1.2 Uwalniane gazy i cząsteczki

Podczas suszenia, odgazowywania, przetwórstwa i mielenia uwalniane są niewielkie ilości gazów i cząsteczek. Ogólną zasadą postępowania jest stosowanie lokalnych wyciągów podczas przetwórstwa wzmocnionych włóknem szklanym tworzyw ZYTEL® i MINLON®, podobnie jak ma to miejsce w przypadku wszystkich tworzyw termoplastycznych. Zastosowanie wentylacji o wydajności około 5 m³ powietrza / minutę na kilogram tworzywa przetwarzanego w ciągu godziny pozwoli utrzymać stężenie cząsteczek stałych (lub gazów) znacznie poniżej wartości granicznej wynoszącej 5 mg/m³ (w Europie), obowiązującej dla uciążliwych pyłów, a równocześnie proces technologiczny będzie można prowadzić stosując maksymalne zalecane czasy i temperatury (przetwarzanie, czyszczenie i suszenie). Więcej informacji szczegółowych na ten temat znajduje się w publikacji „Proper Use of Local Exhaust Ventilation During Hot Processing of Plastics” (Prawidłowe zastosowanie lokalnej wentylacji przy wysokotemperaturowym przetwarzaniu tworzyw) wydanej przez DuPont. Egzemplarz tej broszury otrzymać można od przedstawiciela koncernu DuPont.

1.1.3 Informacje na temat BHP

Koncern DuPont dostarcza swym klientom Arkusz Danych Bezpieczeństwa Materiałowego (MSDS) podczas realizacji pierwszego zamówienia na tworzywa zarówno wzmocnione jak i niewzmocnione włóknem szklanym ZYTEL® i MINLON®, zaś przy następnym zamówieniu arkusz MSDS jest weryfikowany. W arkuszu MSDS znajdują się informacje dotyczące niebezpiecznych składników, zagrożeń dla zdrowia, zasad udzielania pierwszej pomocy, sposobu pozbywania się odpadów oraz zasad magazynowania.

1.1.4 Niebezpieczeństwo poślizgnięcia

Granulki wzmocnionych jak i nie wzmocnionych włóknem szklanym tworzyw ZYTEL® i MINLON® stwarzają niebezpieczeństwo poślizgnięcia się na nich, jeżeli zostaną rozsypane na podłogę. Wszelkie miejsca, w których doszło do rozsypania granulek należy natychmiast zamieść.

1.1.5 Mielenie

Podczas mielenia materiału stosowane muszą być urządzenia z najnowocześniejszymi systemami ochronnymi, zaś instalacja powinna odpowiednio chronić otoczenie przed kurzem i hałasem. Stosowane powinny być sprawne technicznie ekrany, filtry i urządzenia wentylacyjne. Pracowników obsługujących urządzenia wyposażać należy w odpowiednie środki ochrony osobistej, w tym w rękawice i osłony twarzy.

2. Własności płynięcia

Własności fizyczne stopionego polimeru określają sposób jego przetwórstwa. Własnościami tymi są:

- Ogólna struktura molekularna, zasadniczo semikrystaliczna, dla różnych gatunków zależna jest od temperatury i ciśnienia.
- Wartość energetyczna (ciepło właściwe i ciepło topnienia).
- Zachowanie płynnego tworzywa, a w szczególności jego lepkość będąca najważniejszym parametrem reologicznym
- Szybkość krystalizacji tworzywa.
- Stabilność termiczna tworzywa, w szczególności w wysokiej temperaturze i w obecności wody.

2.1 Struktura tworzywa

2.1.1 Krystaliczność

Większość poliamidów posiada strukturę częściowo krystaliczną. Oznacza to, że pewna część polimeru przechodzi w stan stały tworząc pewną uporządkowaną i regularną strukturę krystaliczną. Pozostała część krzepnie w postaci amorficznej, nie wykazującej żadnych regularności.

Podczas krystalizacji, molekuly układają się w płytki, które zazwyczaj zazębiają się o siebie tworząc sferolity o średnicy do 0,2 mm. Jeżeli powstałe płytki zorientowane są w tym samym kierunku, co często ma miejsce na powierzchni detali, to materiał w tym miejscu jest przezroczysty.

Fundamentalna różnica struktury pomiędzy polimerami semikrystalicznymi a amorficznymi jest przyczyną zarówno różnic pomiędzy ich własnościami jak i różnych warunków przetwarzania.

Najważniejsze cechy odróżniające polimery krystaliczne od amorficznych to:

- Duże zmiany objętości w funkcji temperatury, podczas przechodzenia ze stanu stałego w ciekły i odwrotnie.
- Do stopienia polimeru krystalicznego wymagana jest większa ilość ciepła.

Powyższe dwa zjawiska, wraz z innymi sprawiają, że w przeciwieństwie do tworzyw amorficznych, nie zachodzi niebezpieczeństwo nadmiernego upakowania tworzywa w formie nawet, jeżeli stosowane są bardzo wysokie ciśnienia wtrysku i docisku.

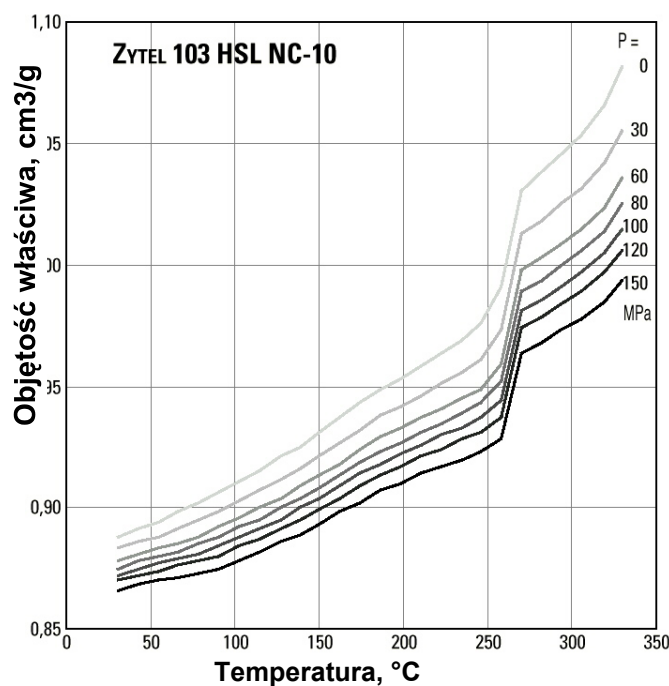
2.1.2 Zmiany objętościowe

Do opisu zmian objętościowych zazwyczaj stosuje się objętość właściwą, będącą odwrotnością masy właściwej. Objętość właściwa materiałów semikrystalicznych jest funkcją temperatur, ciśnienia oraz, w stanie stałym, stopnia skryształizowania.

Niektóre eksperymentalnie uzyskane krzywe zmian objętości właściwej niewzmocnionego tworzywa ZYTEL® pokazane są na rysunku 1. W stanie ciekłym (stopionym), objętość właściwa jest większa niż w stanie stałym. Podczas przetwarzania stopione tworzywo utrzymywane jest pod

ciśnieniem w granicach 70 MPa, co oznacza, że zmiany objętości podczas krystalizacji są mniejsze niż pod ciśnieniem zerowym. Bezpośrednim efektem krystalizacji jest skurcz detalu. Ze względu na to, że wskazane jest zminimalizowanie skurczu, tworzywo stopione powinno być utrzymywane pod ciśnieniem aż do momentu pełnej krystalizacji.

Rys. 1 Wykres zależności pomiędzy ciśnieniem, objętością i temperaturą (objętość właściwa jako funkcja temperatury i ciśnienia)



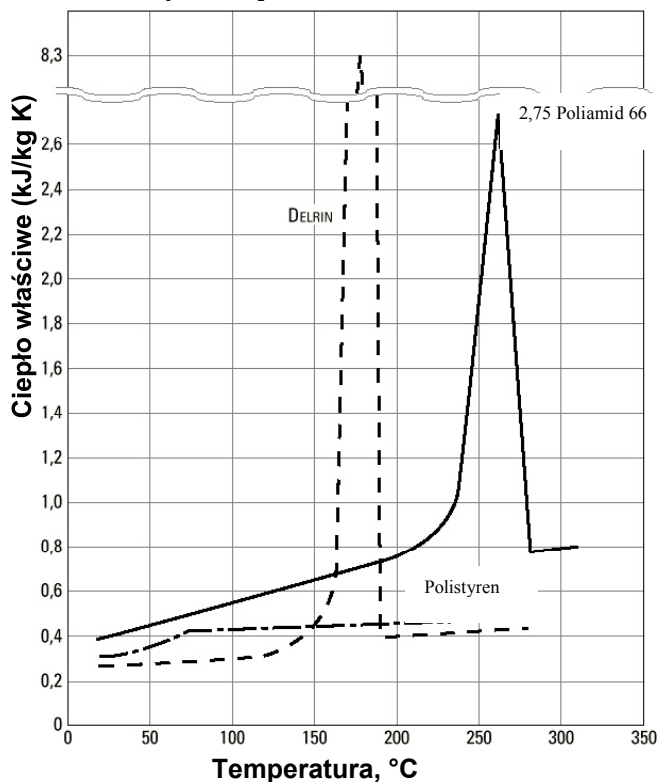
Stopień krystalizacji tworzyw poliamidowych w stanie stałym mieści się w granicach 40% do 60%. Odpowiednia krzywa na rysunku 1 odzwierciedla to zróżnicowanie oraz inne czynniki wpływające na strukturę krystaliczną.

Stopień skryształizowania ma znaczący wpływ na własności wyrobu, w tym na własności mechaniczne, absorpcję wilgoci i odporność chemiczną. Największym stopniem skryształizowania w całej rodzinie poliamidów charakteryzuje się Poliamid 66.

2.2 Wymagania cieplne

Energia niezbędna do podniesienia temperatury polimeru jest, ogólnie rzecz biorąc, zależna od jego ciepła właściwego, definiowanego jako ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury masy jednostkowej materii o 1°K. W przypadku tworzyw o strukturze krystalicznej wymagane jest doprowadzenie dodatkowego ciepła w celu przeprowadzenia tworzywa ze stanu stałego w ciekły. Energia ta jest odzwierciedlona jako pik krzywej ciepła właściwego (rys. 2).

Rys.2 Zależność ciepła właściwego od temperatury



Tak więc całkowita ilość ciepła niezbędna do ogrzania polimeru do temperatury przetworstwa odpowiada powierzchni pola leżącego pod krzywą. Oznacza to, że tworzywa krystaliczne wymagają doprowadzenia większej ilości ciepła niż tworzywa amorficzne, zaś poliamidowe tworzywa niewzmocnione wymagają dwukrotnie większej całkowitej ilości ciepła na przykład w porównaniu z polistyrenem, co uwidoczniło się w tabeli 1.

Przedstawione różnice w zachowaniu wpływają na konstrukcję ślimaka i cylindra – są one o wiele ważniejsze niż w przypadku polimerów amorficznych.

Tabela 1 Energia cieplna potrzebna do przetworzenia

Tworzywo	Ciepło topnienia (kJ/kg)	Całkowite wymagane ciepło (kJ/kg)
Polistyren	0	372
DELRIN®	163	419
Polietylen wysokiej gęstości	242	721
ZYTEL® 101L	130	791

2.3 Lepkość tworzywa stopionego

Lepkość tworzywa stopionego w znacznym stopniu wpływa na ciśnienie napełniania formy – duża lepkość oznacza małą płynność i wyższe ciśnienia wtrysku. Lepkość ciekłego tworzywa jest przede wszystkim funkcją masy cząsteczkowej (przykładowo, ZYTEL® E42 ma większą masę cząsteczkową, a tym samym większą lepkość w stanie ciekłym niż ZYTEL® 101L).

Na lepkość ciekłych poliamidów wpływa znaczna ilość czynników, a w szczególności temperatura stopionej masy, prędkość ścinania oraz zawartość wilgoci w tworzywie.

2.3.1 Zależność lepkości w stanie ciekłym od temperatury

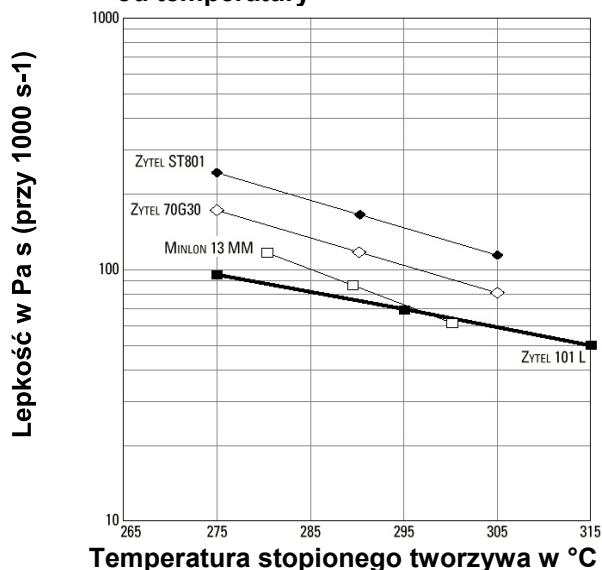
Ogólna zasada mówiąca, że lepkość cieczy spada wraz ze wzrostem temperatury jest, oczywiście, prawdziwa także w przypadku tworzyw sztucznych. Z tego powodu konieczne jest wskazanie temperatury przy podawaniu konkretnych wartości lepkości stopionego tworzywa. Na rysunku 3 widać, że lepkość niewzmoczonego tworzywa ZYTEL® jest mniej wrażliwa na zmiany temperatury niż gatunków wzmocnionych lub modyfikowanych udarowościowo (superwytrzymałych).

2.3.2 Zależność lepkości w stanie ciekłym od prędkości ścinania

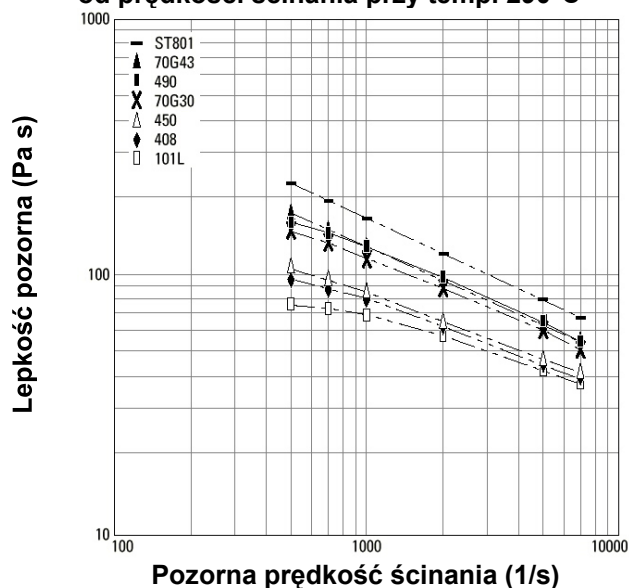
Prędkość ścinania jest parametrem określającym prędkość deformacji strumienia materiału. Zależna jest od prędkości płynięcia strumienia oraz od przepływu tworzywa na drodze ślimak – forma. Lepkość znacznie spada wraz ze wzrostem prędkości ścinania – patrz rys. 4.

Z tego powodu poprzez zwiększenie szybkości wtrysku zmniejszyć można lepkość tworzywa, a przez to poprawić napełnienie form sprawiających trudności. Poszczególne gatunki tworzyw poliamidowych znacznie się między sobą różnią pod względem lepkości – patrz rys. 3 i 4.

Rys. 3 Zależność lepkości stopionego tworzywa od temperatury



Rys. 4 Zależność lepkości stopionego tworzywa od prędkości ścinania przy temp. 290°C

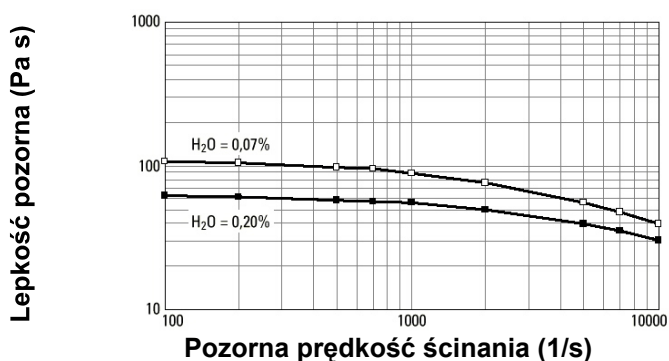


2.3.3 Zależność lepkości w stanie ciekłym od wilgotności

Ze względu na to, że istotnym zagadnieniem jest lepkość stopionej cieczy wypływającej z układu uplastyczniającego, nie można pominąć reakcji chemicznych, które mogą zajść w kanale ślimaka jako wynik obecności wody. Zawartość wilgoci w granulacie tworzywa wpływa na jego lepkość po stopieniu z powodu zjawiska hydrolizy zachodzącego podczas procesu formowania wtryskowego (patrz punkt 2.5).

Generalną, dotyczącą wszystkich poliamidów zasadą jest to, że większej zawartości wilgoci towarzyszy niższa lepkość stopionego tworzywa (rys.5).

Rys. 5 Wpływ wilgotności granulatu na lepkość tworzywa ZYTEL® w temp. 295°C



2.3.4 Lepkość względna (RV)

Lepkość względna jest współczynnikiem bezwymiarowym określającym masę molekularną tworzywa. Im wyższa jest lepkość względna, tym wyższa masa molekularna polimeru.

2.3.5 Temperatura topnienia i punkt topnienia

Tworzywa poliamidowe ZYTEL® i MINLON® są w większości materiałami krystalicznymi i z tego powodu posiadają wyraźne punkty topnienia, a nie temperatury mięknięcia jak to ma miejsce w przypadku tworzyw amorficznych. Optymalna temperatura topnienia może nieco się zmieniać nie tylko w zależności od gatunku ale także w zależności od konkretnego zastosowania. Jest to kolejna przyczyna sprawiająca, że temperatury wskazane w Części II są tylko zalecanymi temperaturami topnienia, wskazującymi zakres tych temperatur dla danego gatunku tworzywa.

Zasadniczo, w celu uzyskania możliwie największej płynności stopionego tworzywa, temperatura powinna być jak najwyższa, jednakże niższa niż temperatura, w której w danych warunkach technologicznych rozpoczyna się degradacja tworzywa (patrz punkt 2.5).

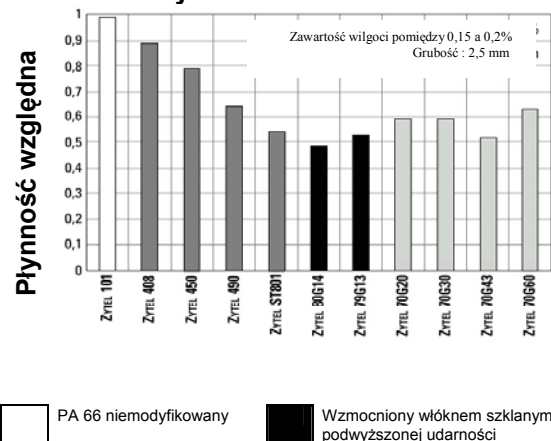
Niska temperatura stopionego tworzywa może być przyczyną niepożądanych zjawisk takich jak heterogeniczność stopionej masy (niejednorodność) lub samoczynne tworzenie się zarodków krystalizacji (samonukleacja).

2.4 Płynność stopionego tworzywa

Płynność stopionego tworzywa jest czynnikiem decydującym o wydajności formowania. W celu uzyskania możliwości porównania płynności różnych tworzyw ogólnie przyjęto jedną metodę pomiaru tego parametru, zwaną metodą przepływu spiralnego lub wężowego. Polega ona na pomiarze odległości, na jaką wypłynął dany materiał pod danym ciśnieniem, w kanale o określonym przekroju (okrągłym lub prostokątnym), w temperaturze formowania wtryskowego. W celu wyciągnięcia prawidłowych wniosków z badania konieczne jest tu uwzględnienie wilgotności tworzywa (patrz punkt 2.2).

W przypadku tworzyw poliamidowych DuPont zwiększeniu stopnia modyfikacji tworzywa odpowiada zmniejszenie długości drogi płynięcia. Na rysunku 6 widoczne są charakterystyki tworzyw ZYTEL® 66. Tworzywa te były przetwarzane w standardowych warunkach, z zachowaniem zalecanych dla każdego z nich parametrów.

Rys. 6. Charakterystyka płynności względnej tworzywa ZYTEL®



2.5 Stabilność płynności tworzywa

Przedmiotem troski każdego pracownika zajmującego się przetwórstwem wtryskowym jest zabezpieczenie stabilności płynięcia tworzywa, tzn. zabezpieczeniem go przed degradacją podczas formowania. Degradacja zmniejsza masę cząsteczkową materiału, a tym samym właściwości produktu finalnego. Degradacja może przybrać jedną z poniższych postaci:

- Hydroliza spowodowana wysoką zawartością wody w tworzywie.
- Degradacja termiczna spowodowana zbyt długim czasem przebywania tworzywa w cylindrze (lub obecnością stref zalegania) bądź nadmierną temperaturą w cylindrze.

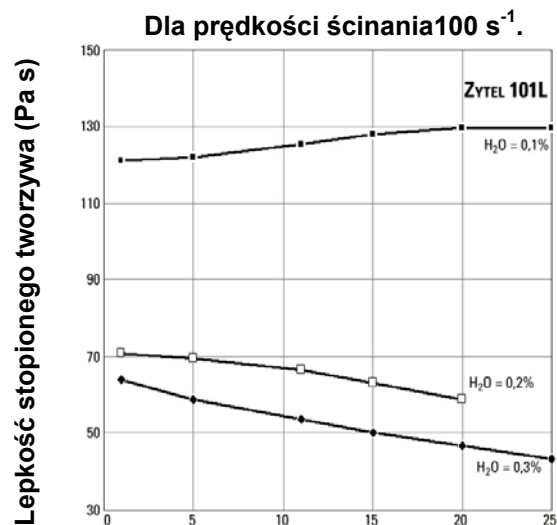
2.5.1 Hydroliza

Poliamidy są produktami polikondensacji i z tego powodu, w zależności od panującego ciśnienia, wilgotności, temperatury i czasu oddziaływania tych czynników może dojść do kondensacji lub hydrolizy.

Podczas formowania wtryskowego, masa cząsteczkowa, a zatem i lepkość względna (RV) ulegają zmianom zależnym od powyżej wspomnianych parametrów. Na rysunku 7 widać, że podczas formowania wtryskowego tworzywo bardzo suche przechodzi polikondensację, a jego RV rośnie. Duża wilgotność z kolei prowadzi do zjawiska hydrolizy i spadku RV. Stan równowagi, zawartość wilgoci (bez polikondensacji i spadku RV) wynosi około 0,12% przy temperaturze masy stopionej wynoszącej 295°C.

Jeżeli wagowa zawartość wody w granulacie nie przekracza 0,20%, to szybkość przebiegu hydrolizy i polikondensacji jest tak mała w normalnych warunkach technologicznych, że zjawiska te praktycznie nie mają wpływu na właściwości formowanych detali.

Rys. 7 Lepkość stopionego tworzywa w zależności od czasu i zawartości wody – ZYTEL® 101



W momencie, gdy zawartość wilgoci przekroczy 0,25%, własności mechaniczne detali formowanych ulegną pogorszeniu, a w szczególności nastąpi spadek wytrzymałości, zmniejszenie wydłużenia, pogorszenie jakości powierzchni oraz będzie łatwo dochodziło do wypływu tworzywa przez dyszę.

2.5.2 Degradacja termiczna

Podobnie jak wszystkie tworzywa sztuczne, także poliamidy DuPont mogą ulec degradacji termicznej. Nie będzie miała ona istotnego znaczenia jeżeli czas przebywania tworzywa w kanale ślimaka nie będzie zbyt długi lub też, gdy temperatura stopionego tworzywa nie będzie zbyt wysoka. W warunkach normalnych szybkość degradacji termicznej jest tak mała, że nie trzeba brać jej pod uwagę.

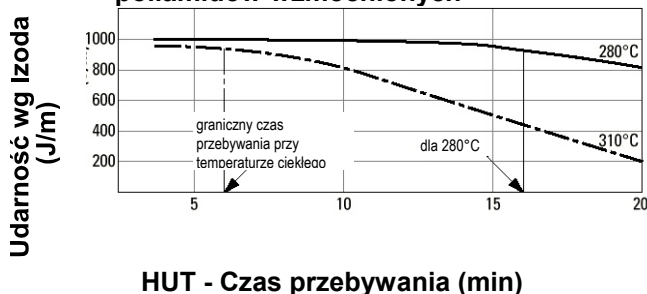
Jeżeli jednak konieczne jest rozgrzanie stopionego tworzywa do bardzo wysokiej temperatury (rzędu 310°C), to masa cząsteczkowa tworzywa ZYTEL® 101 spadnie o 6% przy czasie przebywania 10 minut i o 17% przy czasie 30 minut.

Czas przebywania HUT(Hold-up time) jest średnim czasem potrzebnym na przejście od gardzieli leja do punktu wtrysku formy. Poliamidy, podobnie jak inne tworzywa sztuczne, mogą ulec degradacji podczas procesu formowania. Degradacja polimeru wpływa na masę cząsteczkową i pogarsza jego własności tak, jak to już wyjaśniono powyżej.

Stopień degradacji zależy zarówno od temperatury stopionego tworzywa jak i od czasu przebywania (tzn. od czasu pobytu tworzywa we wtryskarce). Im wyższa jest temperatura ciekłego tworzywa tym krótszy jest czas przebywania po którym dojdzie do degradacji tworzywa (patrz rysunek 8).

Specjalną uwagę na dobranie optymalnego czasu przebywania HUT należy zwrócić w przypadku tworzyw niepalnych, stabilizowanych cieplnie oraz opracowanych na specjalne potrzeby.

Rys. 8 Wpływ czasu przebywania na uduarność poliamidów wzmocnionych



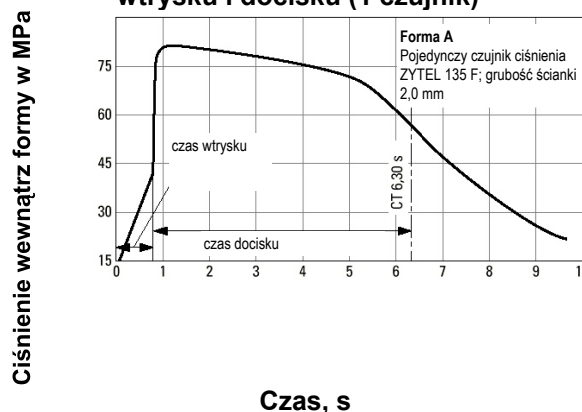
2.6 Określenie charakterystyki stopionego tworzywa przy pomocy form oprzyrządowanych

Nowy system diagnostyczny wykorzystujący pomiar ciśnienia we wnętrzu formy wtryskowej podczas procesu formowania daje możliwość szybkiego oszacowania bardzo

małych zmian charakterystyki tworzywa (płynności i zachowania się podczas krystalizacji), a ponadto pozwala lepiej zrozumieć wpływ różnych parametrów na jakość uzyskanego produktu.

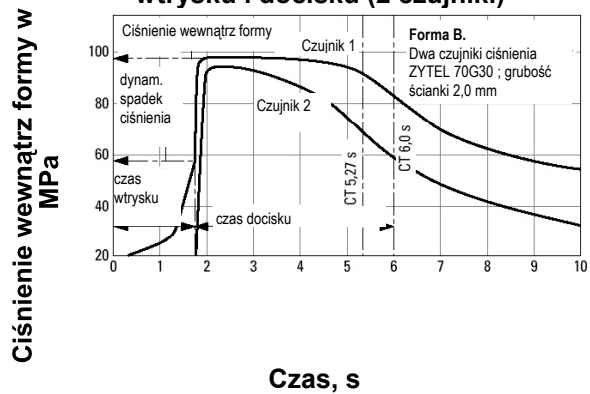
W metodzie tej sygnały analizowane podczas cyklu formowania pochodzą z jednego lub dwóch czujników ciśnienia umieszczonych wewnątrz formy. Komputer mierzy ciśnienie w formie podczas każdego cyklu pracy, przedstawia w postaci graficznej i analizuje.

Rys. 9 Ciśnienie w formie zmierzone podczas wtrysku i docisku (1 czujnik)



Umieszczenie pojedynczego czujnika w pobliżu wlotu /przewężki/ jest zazwyczaj wystarczające dla określenia czasu krystalizacji (CT) wypraski. Jeżeli konieczne jest uzyskanie informacji o lepkości tworzywa, to w najbardziej oddalonym punkcie jego przepływu umieszcza się drugi czujnik, dzięki czemu można określić spadek ciśnienia pomiędzy dwoma czujnikami w fazie wtrysku i docisku.

Rys. 10 Ciśnienie w formie mierzone podczas wtrysku i docisku (2 czujniki)



3. Sposób postępowania z tworzywem

3.1 Wysyłka tworzywa

3.1.1 Fizyczna postać tworzywa

Tworzywa poliamidowe ZYTEL® są granulatem, zazwyczaj w postaci granulek cylindrycznych o wymiarach 3 x 2,5 mm. Większość odmian dostępna jest w różnych kolorach, jako wybarwiona w masie lub jako mieszanki.

Niektóre z własności zasypowych niezbędnych do prawidłowego zwymiarowania urządzeń takich jak leje zasypowe, zawory obrotowe i strefy podawania w ślimakach są podane w tabeli 2.

Rodzina tworzyw opartych na bazie Poliamidu 6, 6/66 i 612 ma nieco mniejszą gęstość zasypową (do 5%).

Tabela 2 Własności zasypowe

Material		Gęstość zasypowa (kg/m ³)	Kąt opadania (stopnie)
Niemodyfikowany	Poliamid 66	720-800	45
O zwiększonej udarności	Poliamid 66	640-720	<60
Wzmocniony włóknem szklanym	Poliamid 66	800-870	<60
Super wytrzymały	Poliamid 66	640-720	<60

Gęstość zasypowa jest gęstością cząsteczek materiału wraz z pustymi przestrzeniami pomiędzy nimi.

Kąt opadania opisuje zdolność granulek do przesypywania się w podajnikach i lejach zasypowych. Kąt opadania mieszczący się w granicach 0° - 45° charakteryzuje materiały syplkie (swobodnie przesypujące się). Kąt większy niż 50° jest typowy dla materiałów spoistych i nie opadających swobodnie.

3.1.2 Pakowanie

Tworzywa poliamidowe ZYTEL® dostępne są w 4 standardowych typach opakowań:

- worki 40 x 25 kg /paleta/
- pojemniki ośmiokątne (octabin) 1000 kg
- pojemniki ośmiokątne (octabin) 1000 kg (z wyładunkiem przez dno)
- luzem (dostawy w cysternach , silosach)

Pełne informacje na temat tych opakowań podane są w broszurach „Introduction to Engineering Polymers Packaging Materials” (Zasady pakowania tworzyw konstrukcyjnych) (H-51358) oraz „Silo Shipments” (Dostawy materiału luzem) (H-38473).

3.2 Sposób postępowania z tworzywami poliamidowymi

Ważnym wymaganiem związanym z wykorzystaniem tworzyw poliamidowych jest zapewnienie dostarczenia suchego i czystego materiału do zespołu wtryskowego.

3.2.1 Magazynowanie

- Tworzywa poliamidowe należy magazynować w miejscu suchym, w temperaturze zbliżonej do panującej w

miejscu pracy. Jeżeli materiał przechowywany jest w zimnym magazynie, to przed otwarciem pojemnika należy doprowadzić go do temperatury panującej w pomieszczeniu wtryskarek.

- Magazynowanie musi odbywać się na zasadzie „pierwszy wszedł – pierwszy wyszedł”. Pomimo, że worki są zabezpieczone przed wilgocią za pomocą specjalnego laminatu, to jednak z biegiem czasu może dojść do wchłonięcia przez nie pewnej ilości wody.

3.2.2 Sposób postępowania z tworzywem pierwotnym

Zastosowanie się do poniższych wskazówek w znacznym stopniu wyeliminuje problemy mogące wyniknąć wskutek nadmiernego zawilgocenia lub zanieczyszczenia materiału:

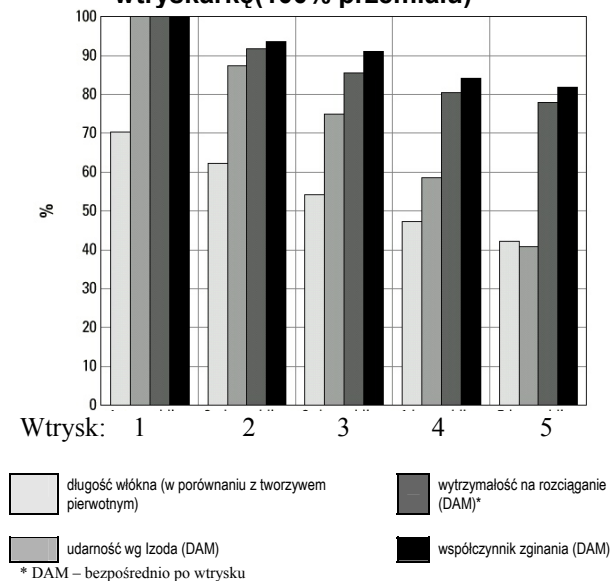
- W celu uniknięcia kondensacji wilgoci zewnętrznej na granulacie, opakowanie z granulatem należy przed otwarciem przez pewien czas przetrzymać w temperaturze panującej w pomieszczeniu wtryskarek lub w wyższej. Wynika stąd, że wskazane jest przechowywanie w tym pomieszczeniu zapasu granulatu w szczelnych pojemnikach w ilości wystarczającej na jeden dzień pracy.
- W leju zasypowym powinna być umieszczona ilość tworzywa wystarczająca na co najmniej jedną godzinę pracy. Sam lej należy zamykać szczelną pokrywą.
- W celu uniknięcia absorpcji wilgoci przez granulaty, niewykorzystywane tworzywo nie powinno stykać się z powietrzem atmosferycznym. Otwarte worki można ponownie zgrzać / zamknąć za pomocą zwyczajnego domowego żelazka lub odpowiednich zgrzewarek.

Wszystkie tworzywa poliamidowe DuPont dostarczane są w stanie gotowym do użytku bezpośrednio po otwarciu pojemnika transportowego.

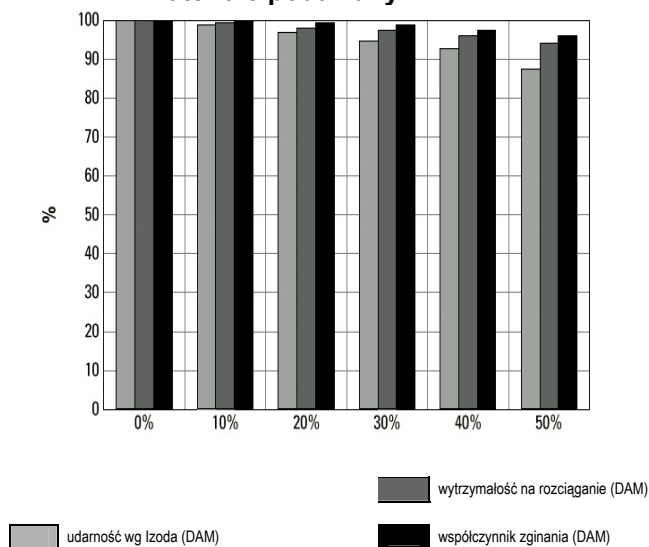
3.2.3 Ponowne przetwarzanie

Możliwe jest zmielenie i ponowne wykorzystanie tworzywa tego samego gatunku, które już było formowane we wtryskarce z tym, że ściśle muszą być przestrzegane zasady postępowania podane poniżej. W przypadku tworzyw wzmocnionych ZYTEL® może dojść do znacznego pogorszenia własności mechanicznych wyrobu, w zależności od udziału materiału wtórnego w całości tworzywa doprowadzonego do wtryskarki (patrz rys. 11 i 12). Zalecaną metodą postępowania jest ponowne wykorzystywanie tworzywa bezpośrednio po jego powstaniu i ograniczenie udziału w mieszance z tworzywem pierwotnym do 50%, a najlepiej do 25%. Na ostateczne własności detali wytworzonych przy użyciu tworzywa wtórnego większy wpływ ma jakość przemiału niż procentowa zawartość materiału wtórnego.

Rys. 11 Zależność własności mechanicznych w zależności od ilości przejść przez wtryskarkę (100% przemiału)



Rys. 12 Zależność własności mechanicznych w zależności od udziału materiału wtórnego w materiale podawanym



Uzyskanie pomyślnych wyników wykorzystania tworzywa wtórnego jest uwarunkowane przestrzeganiem poniższych zasad:

1. Tworzywo wtórne /przemiał/ absorbuje szybciej wilgoć i w większej ilości niż tworzywo pierwotne. Z tego powodu należy mieć na uwadze poniższe zalecenia:

- Chronić przemiał przed wilgocią.
Do przechowywania stosować szczelne pojemniki, zabezpieczone przed wilgocią.
- Tworzywo z wlewków i kanałów dolewowych powinno być zmielone, zmieszane i wykorzystane gdy tylko zostaną wyjęte z formy – pozwoli to uniknąć dodatkowej operacji suszenia.

2. Przemiał może zawierać znacznie więcej zanieczyszczeń niż tworzywo pierwotne. Z tego powodu:

- Nie wolno wykorzystywać tworzywa z kanałów doprowadzających oraz detali jeżeli widoczne są na nich odbarwienia lub kraterki. Mogą to być oznaki degradacji tworzywa.
- Sprawdzić należy, czy przemiał nie jest zanieczyszczony.
- Zminimalizować ilość manipulacji związanych z materiałem pochodzącym z dróg dolewowych i kanałów doprowadzających.

Należy używać rękawic nie pozostawiających włókien.

- Należy dbać o zachowanie jednolitości wymiarowej cząstek zmielonego tworzywa. Cząstki bardzo drobne gwałtownie absorbują wilgoć (ze względu na duży stosunek powierzchni do objętości) oraz przywierają do ścianek cylindra. Ponadto gromadzi się na nich ładunek elektrostatyczny przyciągający zanieczyszczenia, które mogą zatkać filtry podajników podciśnieniowych. Ostrza mielące powinny być ostre i tak ustawione by zminimalizować ilość mialu. Miał można oddzielić od przemiału za pomocą sit wibracyjnych o wymiarze siatki 12 lub 16.

- Należy regularnie czyścić młynki i pojemniki na przemiał.

3. Niektóre własności tworzywa zależą od ilości jego przejść przez wtryskarkę. Oznacza to, że utrzymanie jakości detali na stałym poziomie wymaga stosowania się do poniższych zaleceń:

- W tworzywie doprowadzonym do wtryskarki proporcje pomiędzy tworzywem wtórnym, a pierwotnym muszą być stałe. Zmieszanie obu składników musi odbyć się przed wprowadzeniem materiału do wtryskarki.
- W celu uniknięcia akumulacji przemiału należy wykorzystywać go w miarę powstawania. Idealnym rozwiązaniem jest stworzenie obiegu zamkniętego, w którym odbywać się będzie oddzielanie, mielenie i gromadzenie tworzywa.
- Mielenie poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym powinno odbywać się bezpośrednio po wtrysku – ograniczy to do minimum pękanie wzmocniających włókien szklanych.

Najbardziej wrażliwe na ponowne przetworzenie są tworzywa poliamidowe wzmocnione włóknem szklanym. Przyczyną tego jest przede wszystkim pękanie włókien podczas mielenia. Wpływ wielokrotnego przetwarzania tworzywa na własności mechaniczne detali wytwarzanych wtryskowo, wykonywanych z tworzywa ZYTEL® z 33% wzmocnieniem włóknem szklanym pokazany jest na rysunku 11. Wykres obrazuje zależność pomiędzy ilością przejść tworzywa ZYTEL® przez wtryskarkę, a pogorszeniem się własności mechanicznych. Spadek ten w przypadku detali wykonanych w 100% z przemiału przedstawiono jako procent własności części wykonanych z tworzywa pierwotnego.

Jeżeli przetwarzanie odbywa się w obiegu zamkniętym, zaś podczas mieszania z materiałem pierwotnym stosowane są podane powyżej zalecenia, to wpływ przemiału na własności detali wytwarzanych na wtryskarce jest niewielki. Pokazane jest to na rysunku 12 – widoczny na nim jest wpływ udziału przemiału na własności mechaniczne detali z tworzywa ZYTEL® z 30% wzmocnieniem z włókna szklanego.

3.2.4 Pozbywanie się odpadów

Stosowanie się do zaleceń zawartych w niniejszej instrukcji zaowocuje zminimalizowaniem ilości powstających odpadów technologicznych i wybrakowanych detali. Mimo to podczas produkcji zawsze powstaje pewna ilość odpadów nie nadających się do ponownego wykorzystania i w związku z tym zachodzi konieczność prawidłowego się ich pozbycia.

Koncern DuPont preferuje spalanie ich i odzyskanie powstającej w tym procesie energii. Piec do likwidacji odpadów musi być wyposażony w nowoczesny filtr oczyszczający spaliny przed ich uwolnieniem do atmosfery.

Tworzywa ZYTEL® i MINLON® nie rozpuszczają się w wodzie i praktycznie nie zawierają dodatków, które mogłyby zostać przejęte przez wodę. Oznacza to, że tworzywa te, w przypadku zasypania ich w ziemi, nie stwarzają żadnego znanego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego i środowiska.

Niezależnie od przyjętego sposobu usuwania odpadów przestrzegane muszą być miejscowe, często bardzo zróżnicowane, przepisy.

Poliamid jest wspomniany na „zielonej liście” Normy Europejskiej EEC 259/93, dodatek II. Oznacza to, że ZYTEL® i MINLON® nie podlegają ograniczeniom dotyczącym transportu odpadów przeznaczonych do odzysku na obszarze Europy.

3.3 Wpływ wilgoci

Zawartość wilgoci w tworzywach poliamidowych jest szczególnie ważnym parametrem i ma bezpośredni wpływ na przebieg formowania, własności mechaniczne, na lepkość stopionego materiału oraz na wygląd wyprodukowanych detali.

Jak już wcześniej wspomniano, wszystkie poliamidy są higroskopijne i absorbują wilgoć z powietrza (Punkt 3.2.2).

- W temperaturze przekraczającej punkt topnienia woda wchodzi w reakcję chemiczną z poliamidami. Reakcja ta (hydroliza) powoduje zmniejszenie masy cząsteczkowej, a tym samym pogorszenie własności wyprasek (patrz punkt 2.5).

Ponadto zmienia się zachowanie reologiczne stopionej masy i może to prowadzić do problemów np.: powstawanie przetrysków. Utrudnione może być także utrzymanie wymiarów detali w granicach tolerancji.

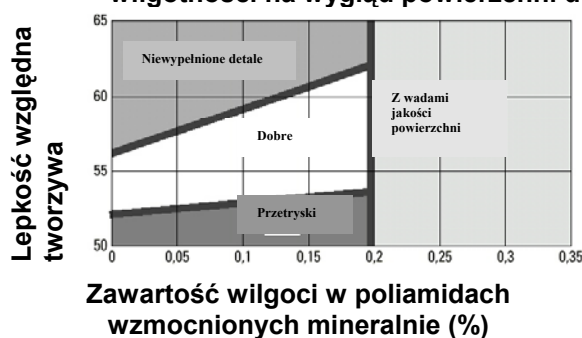
- Zaabsorbowana woda może przekształcić się w parę, czego efektem będą kratery i wewnętrzne pęcherze w wypraskach.
- Negatywny wpływ wilgoci na stopione poliamidy jest pogłębiany przez długi czas przebywania i / lub wysoką, przekraczającą 315°C, temperaturę stopionego tworzywa. Dzieje się tak z powodu spadku masy cząsteczkowej, co znajduje odbicie we względnej lepkości cieczy. W takiej sytuacji wskazane jest odpowiednie zmniejszenie zawartości wody.

Jako przykład, na rysunku 13 pokazano wpływ wilgoci i lepkości względnej na wygląd powierzchni części wykonanych z poliamidów wzmocnionych mineralnie.

Zawartość wilgoci w tworzywie nie powinna być większa niż 0,2% (wagowo), jak to wynika ze wskazań dla poszczególnych gatunków.

Tworzywa poliamidowe dostarczane przez koncern DuPont są suche i gotowe do użycia wprost po wyjęciu ich z pojemników transportowych. W warunkach normalnych tworzywa pierwotne można kierować do produkcji wprost z oryginalnie zamkniętych pojemników.

Rys. 13 Wpływ lepkości względnej (RV) i wilgotności na wygląd powierzchni detali.



3.4 Suszenie

Wymagana końcowa wilgotność granulatu zależy od wymagań stawianych wyprase i nie powinna przekraczać 0,2%, a w pewnych przypadkach musi być mniejsza niż 0,1%.

Wszystkie poliamidy są materiałami higroskopijnymi i absorbują wilgoć z powietrza. Tak więc jeżeli pierwotne tworzywo poliamidowe będzie przechowywane w otwartym pojemniku przez dłuższy czas, lub użyty zostanie przemiał, to niezbędne będzie zastosowanie dodatkowego suszenia.

Czynniki, od których zależy szybkość suszenia poliamidu to:

- **Względna wilgotność atmosfery suszącej.** Szybkość suszenia wzrasta wraz ze spadkiem ilości wody w powietrzu suszącym
- **Temperatura suszenia.** Wzrost temperatury zwiększa szybkość suszenia.

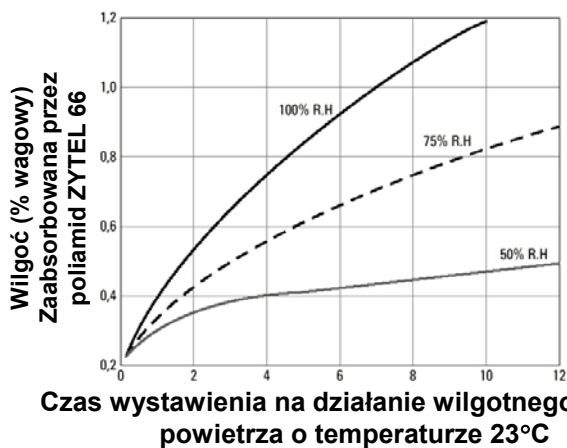
Suszenie przy użyciu powietrza o temperaturze przekraczającej 93°C, trwające ponad 3 godziny spowoduje niedopuszczalne zmiany zabarwienia poliamidu. Oznacza to, że konieczne jest znalezienie kompromisu pomiędzy szybkością suszenia, a temperaturą suszenia. Maksymalna temperatura zalecana do suszenia poliamidu DuPont wynosi 80°C.

- **Stosunek powierzchni do objętości suszonego poliamidu.**

Wielkość granulek poliamidu wynika z norm producenta oraz zależy od zastosowanych w młynie sit.

Zawartość wody w poliamidzie stykającym się z atmosferą można oszacować na podstawie rysunku 14. Ilość wody znajdującej się w tworzywie ZYTEL® 66 przy różnych wilgotnościach względnych jest na nim przedstawiona jako funkcja czasu kontaktu z atmosferą.

Rys. 14 Absorpcja wilgoci przez pierwotne tworzywo ZYTEL® (granulat)

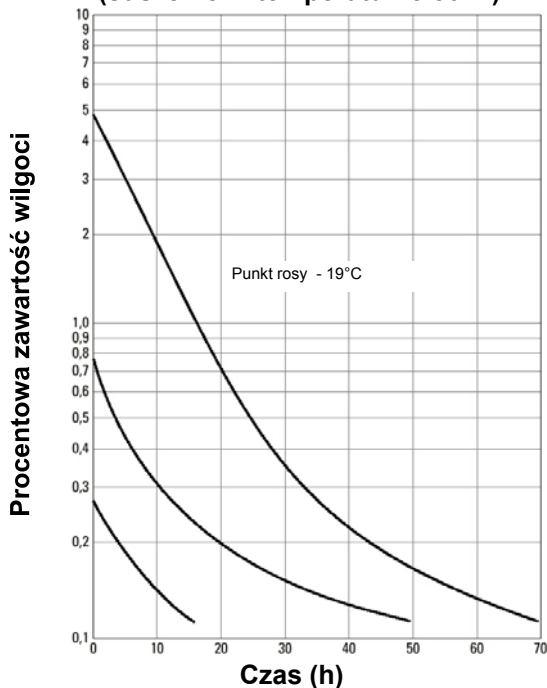


* RH – wilgotność względna

DuPont zaleca, by suszarka do poliamidów wykorzystywała suche powietrze lub środowisko beztlenowe (piec próżniowy). Zastosowanie drugiego z tych rozwiązań jest trudne w przypadku zautomatyzowanego procesu ciągłego gdyż w piecu próżniowym tworzywo jest suszone wyłącznie wsadowo, w ilościach odpowiadających pojemności pieca.

Zgrubne oszacowanie czasu potrzebnego do wysuszenia tworzywa jest pokazane na rysunku 15. Wartości dla poliamidu wzmocnionego włóknem szklanym, zawierającego wypełniacz mineralny lub modyfikowanego udarnościowo mogą być większe.

Rys. 15 Przebieg suszenia pierwotnego poliamidu MINLON® oraz ZYTEL® (granulat) (suszenie w temperaturze 80°C)



3.5 Barwienie

Niektóre poliamidy są dostępne w różnych standardowych kolorach, w postaci granulatu zabarwionego w masie. Swoboda wyboru barwy jest jeszcze większa przez to, że zastosować tu można niemal każdą metodę barwienia: pigmenty suche, pasty, płyny barwiące lub barwniki. Sposoby te mogą jednak spowodować zróżnicowanie własności tworzyw i przebiegu przetwórstwa.

Przy zamawianiu płynnych barwników lub pigmentów suchych specjalną uwagę należy zwrócić na poniższe zagadnienia:

- Zastosowane suche pigmenty lub płynne barwniki muszą być chemicznie kompatybilne z tworzywami poliamidowymi oraz muszą posiadać dobrą stabilność termiczną w temperaturze przekraczającej temperaturę przetwarzania tworzywa.
- Pigmenty zazwyczaj wpływają na szybkość krystalizacji, a tym samym na wielkość skurczu. Ponadto nośnik barwników płynnych wpływa na przebieg formowania wtryskowego.
- Nośnik ten można traktować jako smar powierzchniowy, który teoretycznie, może spowodować poślizg na ślimaku i problemy z wypełnianiem gniazda formy.
- Podstawowym zagadnieniem związanym z metodami barwienia jest zapewnienie równomiernego rozproszania i wymieszania pigmentu w sieci polimerów.

Niezależnie od rodzaju zastosowanej techniki barwienia należy starannie przestrzegać poniższych zasad:

- Zachowane muszą być rozsądne proporcje między polimerem, a barwnikiem.
- Stosować należy głowice mieszające lub ślimaki o podwyższonym stopniu sprężania.
- Ruch powrotny ślimaka należy wyregulować tak, by był mniejszy niż 30% maksymalnego ruchu.

Ważna uwaga

DuPont nie może udzielić żadnej gwarancji na zachowanie i własności detali wytwarzanych na wtryskarce jeżeli tworzywo poliamidowe DuPont zostanie zmieszane z innymi produktami, takimi jak płynne pigmenty lub barwniki.

3.6 Kontrola jakości

Jakość detali poliamidowych wyprodukowanych na wtryskarce jest odzwierciedleniem jakości zastosowanych tworzyw oraz stosowanej technologii. O ile warunki formowania, konstrukcja formy i jakość tworzywa będą zadowalające, to również jakość detali można będzie zaakceptować. Jeżeli jednak tworzywo lub technologia będą nieodpowiednie, to jakość wyprodukowanego detalu może być nie do przyjęcia. Problemy z jakością detali można zazwyczaj podzielić na trzy ogólne grupy: wytrzymałość, wygląd i wymiary. Zagadnienia związane z wymiarami detali omówione są w punkcie 8.

3.6.1 Parametry tworzyw

Wszystkie tworzywa ZYTEL® podlegają kontroli mającej na celu utrzymanie niezmiennego poziomu ich jakości. Nie ulegnie ona zmianie, jeżeli pojemniki wysyłkowe nie zostaną naruszone podczas transportu lub magazynowania. W przypadku uszkodzenia pojemnika lub jego niezamknięcia tworzywo będzie absorbować wilgoć co negatywnie wpłynie na jakość produktu.

Wszelkie dodatki, takie jak stabilizatory koloru, stabilizatory ultrafioletowe, dodatki poślizgowe i barwiące są sprawdzane pod kątem zapewnienia stałości parametrów zarówno podczas formowania jak i końcowego wykorzystania detali.

Zawartość wilgoci

Tworzywa poliamidowe ZYTEL® dostarczane są w opakowaniach nie przepuszczających wilgoci i w warunkach normalnych nie zachodzi potrzeba suszenia granulatu. Tworzywa poliamidowe są jednakże materiałami higroskopijnymi i absorbują wilgoć jeżeli stykają się z powietrzem atmosferycznym. Jeżeli dojdzie do nadmiernego zawilgocenia tworzywa, to przed dalszym przetworzeniem konieczne jest suszenie w temperaturze 80°C i obniżenie wilgotności poniżej 0,2%.

Nadmierna wilgotność nie tylko negatywnie wpływa na płynność tworzywa ale także zmniejsza jego wytrzymałość i jest przyczyną powstawania innych wad (patrz punkt 3.3).

Lepkość roztworu

Lepkość roztworu (lepkość względna [RV], liczba lepkościowa [VN] oraz lepkość naturalna [IV]) w przypadku tworzywa jest miarą masy cząsteczkowej, która z kolei decyduje o wytrzymałości i podatności na formowanie. Masa cząsteczkowa poliamidów ZYTEL® jest tak dobrana by zachować dobrą równowagę pomiędzy łatwością przetwarzania tworzywa a wytrzymałością wyprodukowanych detali.

Ze względu na to, że wilgotność i wysoka temperatura mogą spowodować spadek masy cząsteczkowej, a tym samym zmniejszenie wytrzymałości detali, należy dołożyć starań by ta cecha tworzywa (tzn. masa cząsteczkowa) nie uległa zmianie. Dla odmian rozpuszczalnych w typowo stosowanych rozpuszczalnikach do poliamidów zmierzyć można lepkość roztworu. Jeżeli tworzywo zostało zmodyfikowane za pomocą dodatków nierozpuszczalnych (włókno szklane, minerały, utwardzacz) konieczne jest

zastosowanie innych wskaźników (takich jak lepkość stopionego tworzywa) w celu określenia ciężaru cząsteczkowego.

Wytrzymałość

Ze względu na to, że poliamidy ZYTEL® są często wybierane z powodu ich wytrzymałości, tworzywa będące w stanie „do wysłania” poddawane są dokładnym badaniom udarowym metodą Izoda. Nadmierna wilgotność tworzywa podczas formowania powoduje spadek masy cząsteczkowej i obniża wytrzymałość tworzywa.

3.6.2 Wymagania wobec wyprasek

Określenie jakości detali wyprodukowanych na wtryskarce odbywa się na podstawie obserwacji wzrokowych i badań laboratoryjnych.

Wygląd

Operator wtryskarki może wykryć wzrokowo takie wady jak przetryski, ślady przypalenia (przegrzania) itp.

Problemy te zazwyczaj można usunąć zmieniając parametry wtrysku lub konstrukcję formy. W przypadku wielu tworzyw nieprawidłowości takie jak zanieczyszczenia, pustki (jamy usadowe), zapadnięcia najłatwiej jest wykryć poprzez oświetlenie detali standardową lampą, np. „Illuminant” C lub oglądając detal pod światło. W niektórych przypadkach przeprowadzić można badanie mikroskopowe (powiększenie od 10 do 100 x) w celu zbadania małych lecz istotnych szczegółów wypraski (pustki (jamy usadowe), krystalizacja i zanieczyszczenia). Niektóre z powszechnie występujących problemów, pogarszających wygląd i zmniejszających wytrzymałość wyprasek poliamidowych to:

- *Kolor* - ocenie poddana może być sama barwa jak i równomierność rozkładu koloru w całym detalu. Elementy odbarwione należy uznać za braki i nie kierować ich do ponownego przetworzenia.
- *Krater* - rozległe wady tego rodzaju można zauważyć już przy maszynie jednakże niewielkie kraterki mogą pozostać niezauważone, o ile nie przeprowadzi się dokładnego badania wzrokowego.

Obserwacja kraterów występujących w niewielkich ilościach może również być wskazówką co do zjawisk zachodzących w wtryskarce, mogących doprowadzić do intensywnego występowania tej wady. Kraterki zazwyczaj powstają jako wynik nadmiernej wilgotności lub nadmiernej temperatury.

- *Przetrysk* - najprostszą metodą wykrycia przetrysku jest badanie wzrokowe
- *Ślady przeżrzenia* - można je wykryć już przy wtryskarce. Przyczyną ich powstawania jest brak odpowietrzenia formy.
- *Niewystarczające wypełnienie formy* - większość takich defektów daje się łatwo wykryć przy maszynie, jednakże małe zagłębienia mogą być spowodowane niecałkowitym wypełnieniem.
- *Linie łączenia* - obecność widocznych linii łączenia jest defektem kosmetycznym ale może również spowodować spadek wytrzymałości detali.

- *Zanieczyszczenie* - zanieczyszczenia powierzchniowe często wykryć można przy maszynie. Zanieczyszczenia wewnętrzne w cienkich fragmentach detali często dają się zlokalizować podczas oglądania detali w silnym świetle. Do wykrycia małych zanieczyszczeń posłużyć się można mikroskopem.
- *Wykończenie* - dokładność odtworzenia powierzchni gniazda formy, a także obecność niepożądanych rys wykryć można metodą wzrokową.
- *Nieroztopione cząstki* - Często dają się zauważyć podczas wzrokowej kontroli detali. Mają wygląd odrębnych wtrąceń o wyróżniającym się kolorze.
- *Pustki (jamy usadowe)* - W cienkich przekrojach puste miejsca można wykryć oglądając detal pod światło o dużym natężeniu. Puste miejsca o małych rozmiarach można zlokalizować za pomocą mikroskopu, podczas oglądania detali pociętych na mniejsze fragmenty.

Wytrzymałość

Wytrzymałość detali wykonanych wtryskowo z poliamidu ZYTEL® można oszacować na podstawie pomiaru lepkości względnej, testu kwalifikacyjnego, za pomocą badań niszczących i badań detali w warunkach eksploatacji. W każdej z powyższych metod określona musi być zawartość wilgoci gdyż jej ilość wpływa na wytrzymałość wyprasek poliamidowych.

Lepkość względna (RV) i liczba lepkościowa (VN)

Potencjalna wytrzymałość poliamidu jest z grubsza proporcjonalna do jego masy cząsteczkowej. Lepkość względna, będąca miarą tej masy, daje się określić za pomocą procedury ASTM D789. Liczba lepkościowa, także będąca miarą masy cząsteczkowej może być wyznaczona zgodnie z ISO 307. Ze względu na to, że testy te opierają się na wykorzystaniu próbek rozpuszczonych w kwasie mrówkowym lub siarkowym, ich przydatność jest ograniczona do poliamidów niemodyfikowanych, takich jak ZYTEL® E101L oraz E103HSL. Prawidłowa wielkość RV lub VN jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym do zapewnienia właściwej wytrzymałości detali. Nierównomierny rozkład molekuł w detalach, zanieczyszczenia i karby zmniejszają wytrzymałość lecz mogą nie być wykryte poprzez pomiar lepkości względnej.

Udarnościowe testy kwalifikacyjne

Wyniki tych testów są trudne do oceny. W większości przypadków konieczne jest przeprowadzenie licznych testów indywidualnych zanim uda się ustalić ogólny trend. Często za kryterium graniczne przyjmuje się punkt, w którym 50% próbek pomyślnie przechodzi próbę uderzenia z danej wysokości (lub uderzenia danej masy) zaś pozostałe 50% nie przechodzi tej próby. Wysokość lub masa odpowiadająca temu punktowi jest miarą wytrzymałości części.

Do kategorii tej należą: test Izoda, udarowy test strzałkowy (ostrzowy), przyrządowy test udarowy. W niektórych przypadkach podane są rzeczywiste parametry badania (patrz opis testu Izoda wg ISO 180/1U) zaś w innych warunki badań testu przyjmowane są arbitralnie.

Podczas przygotowywania programu badań należy wyróżnić i kontrolować kilka czynników:

- *Geometria i orientacja próbki* - młot udarowy musi za każdym razem działać w tym samym miejscu, z taką samą siłą.
- *Temperatura próbki* - musi być stała i utrzymywana pod kontrolą. Jest to szczególnie ważne jeżeli temperatura testu odbiega od pokojowej. Wszelkie nietypowe wahania temperatury wpłyną na wyniki badań. Szczególnie trudne do kontrolowania są testy udarnościowe w niskich temperaturach.
- *Zawartość wilgoci w próbce* - Zawartość wilgoci w każdym z detali wpływa na jego zachowanie podczas badań udarowościowych. Wilgotność we wszystkich próbkach powinna być stała, a ponadto powinna być zmierzona.

Testy w warunkach eksploatacji

Testy te muszą być reprezentatywne dla końcowego zastosowania danego detalu. Należy zadbać o stworzenie realistycznych warunków badań - muszą one symulować rzeczywisty poziom obciążeń założonych ale nie mogą ich przekraczać, gdyż prowadziłyby to do dyskwalifikacji detali dobrych.

4. Wtryskarka

Tworzywa poliamidowe DuPont są pomyślenie wykorzystywane w wielu typach wtryskarek. Ze względu na to, że poliamid jest najczęściej przetwarzany we wtryskarkach ślimakowych, niniejszy punkt jest poświęcony tylko temu rodzajowi maszyn.

4.1 Wymagania stawiane maszynie

W chwili obecnej uważa się, że najefektywniejszym urządzeniem do formowania wtryskowego jest maszyna jednoślindakowa, o posuwisto-obrotowym ruchu ślimaka.

Do przetwarzania poliamidów DuPont stosować można niemal wszystkie współczesne maszyny o posuwisto-obrotowym ruchu ślimaka, o ile tylko przestrzegane będą poniższe zalecenia.

Wtryskarki zazwyczaj charakteryzowane są trzema podstawowymi parametrami: siłą zamykania, objętością wtrysku i zdolnością uplastyczniania lub topienia.

- **Siła zamykania.** Zgodnie z przedstawionymi w tym poradniku sugestiami dotyczącymi ciśnienia wtrysku zalecamy, by maszyny przetwarzające poliamid DuPont dysponowały siłą zamykania wynoszącą w przybliżeniu 0,7 Tony na cm^2 rzutu powierzchni wtrysku.
- **Objętość wtrysku.** Jest to objętość (masa) roztopionego tworzywa wtryskiwanego przez ślimak w jednym cyklu pracy. Gęstość roztopionego, niewzmocnionego poliamidu ZYTEL® jest w przybliżeniu równa gęstości polistyrenu (będącego standardowym materiałem do określania charakterystyki wtryskarki) w normalnych technologicznych ciśnieniach i temperaturach. Z tego powodu maksymalna masa wtryskiwanego niewzmocnionego poliamidu ZYTEL® będzie w przybliżeniu równa wartości wskazanej na tabliczce znamionowej lub podanej dla polistyrenu w charakterystyce wtryskarki.

W przypadku krótkiego czasu cyklu i dobrej jednorodności stopionego tworzywa, rzeczywisty suw powrotny powinien mieścić się w granicach od 1 do 2 D jeżeli wykorzystywany jest ślimak o stosunku L/D równym 20. Pomimo, że możliwe jest wytwarzanie detali poza podanym zakresem pracy, to wyjściu poza podane granice musi towarzyszyć duża ostrożność, gdyż wiązać się to może ze zbyt długim czasem przebywania tworzywa w cylindrze lub wtryskiwaniem zbyt małej ilości płynnego tworzywa.

Podczas sprzedaży maszyny jej dostawca zazwyczaj daje kupującemu możliwość jej wyposażenia w jeden z trzech zespołów uplastyczniających o różnych objętościach. Wybór ten determinuje oczywiście średnicę ślimaka i maksymalne efektywne ciśnienie wtrysku tworzywa.

- **Zdolność uplastyczniania lub topienia.** Jest to maksymalna prędkość z jaką maszyna może nieprzerwanie topić polimer w danych warunkach pracy, określanych przez: prędkość obrotową ślimaka, całkowity czas trwania cyklu i temperaturę cylindra (rozkład temperatur). Często zdarza się, że wartość tego parametru jest myląca, gdyż zdolność uplastyczniania

jest niemal zawsze określana dla wtryskarki pracującej niemal tak, jak wytłaczarka.

We wtryskarce, w przeciwieństwie do wytłaczarki, polimer jest roztopiany cyklicznie i z tego powodu efektywna zdolność uplastyczniania lub topienia jest znacznie mniejsza niż zazwyczaj podawana.

Efektywna szybkość topienia zależy od następujących czynników:

1. Całkowitego czasu trwania cyklu
2. Masy wtryskiwanego tworzywa
3. Pojemności cylindra
4. Konstrukcji ślimaka
5. Braku stref powodujących zaleganie
6. Prędkości obrotowej ślimaka
7. Mocy opasek grzewczych
8. Typu tworzywa - struktury (amorficznej, krystalicznej), gęstości, punktu topnienia, punktu mięknienia itp.
9. Postaci granulek
10. Procentowego udziału materiału wtórnego

Ze względu na to, że podczas procesu plastyfikacji, poliamid zmienia swój stan fizyczny i objętość (wykres PVT, rys. 1), dodatkową uwagę należy poświęcić doborowi urządzeń i warunkom procesu technologicznego.

Korzyści wynikające z zastosowania wszystkich tych środków ostrożności i starannego doboru maszyny można utracić, jeżeli nie zostanie uważnie przeanalizowany problem miejsc powodujących zaleganie.

Zespół wtryskowy powinien mieć możliwość wtryskiwania roztopionego poliamidu pod ciśnieniem do 140 MPa. Precyzyjna i powtarzalna regulacja ciśnienia wtrysku jest podstawowym warunkiem utrzymania wymiarów produkowanych detali w granicach tolerancji oraz zachowania założonych wartości innych parametrów.

4.2 Konstrukcja maszyny

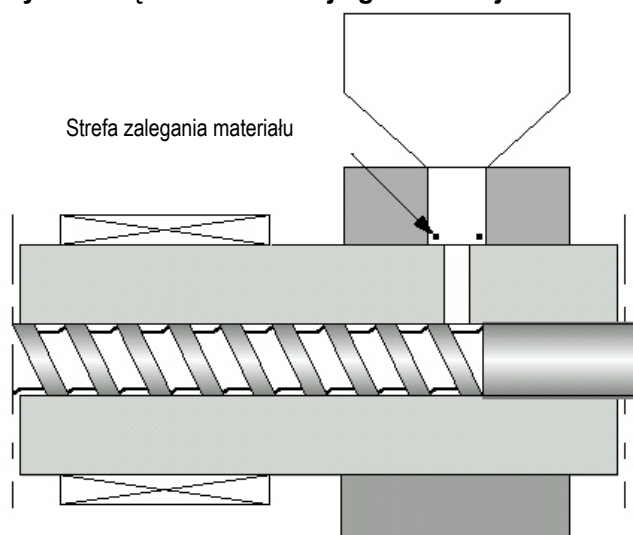
W tej części opracowania zestawionych zostało kilka podstawowych wskazówek pozwalających dokonać prawidłowego wyboru wtryskarki. Jeżeli brana jest pod uwagę możliwość długotrwałego eksploataowania maszyny produkującej detale z poliamidu wzmocnionego włóknem szklanym lub materiałem mineralnym, to wskazane jest zastosowanie się do zaleceń przedstawionych w punkcie „Zużycie”.

4.2.1 Gardziel leja zasypowego

Zbyt często nie przywiązuje się należytej uwagi do temperatury i systemu chłodzenia leja bądź też uważa się, że jest to zagadnienie nieistotne lub, że wystarczy jedynie uniknąć „mostkowania” granulatu nad ślimakiem. W rzeczywistości jest to pierwsze miejsce, w którym dochodzi do zetknięcia się tworzywa z wtryskarką i od tego momentu rozpoczyna się praca nad jakością produktu finalnego.

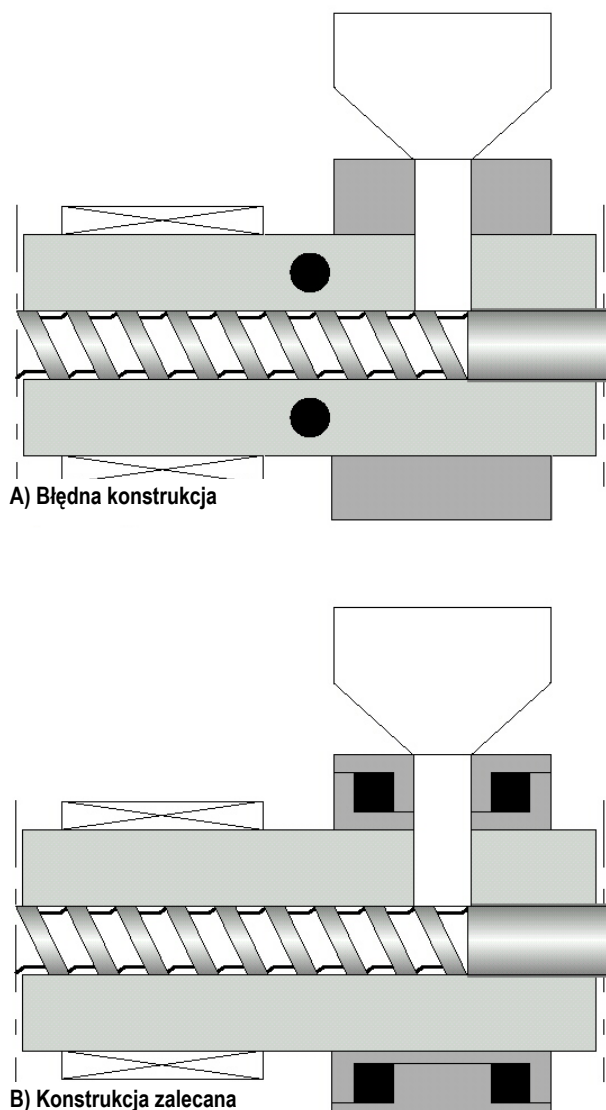
Gardziel leja powinna być dobrze zaprojektowana, tzn. tak, aby nie tworzyła stref powodujących zaleganie (patrz rys. 16), w których mogłoby nastąpić zaleganie tworzywa, pyłu, pigmentów, materiałów smarujących lub innych dodatków. Nawet jeżeli temperatura leja jest niska, to osadzanie się materiału w takich obszarach może wpłynąć na jego jakość. Przykładowo tworzywo lub jego zlepki mogą spadać na ślimak w porcjach wpływając w ten sposób na powtarzalność ilości wtryskiwanego tworzywa lub na czas powrotu ślimaka, a to z kolei negatywnie wpływa na **JAKOŚĆ STOPIONEGO TWORZYWA**.

Rys. 16 Błędna konstrukcja gardzieli leja



System chłodzenia gardzieli leja jest bardzo często tak umieszczony, że jego efektywność jest niewielka (patrz rys. 17). W efekcie temperatura gardzieli może osiągnąć dużą wartość (ponad 100°C). Z tego powodu granulki w dolnej części gardzieli mogą zmięknąć i stać się lepkie w momencie dotarcia do ślimaka. Będą one tworzyć skupiska lub przywierają do ślimaka i przez to powodować zmiany w ilości wtryskiwanego tworzywa, czasu powrotu ślimaka i tym samym bezpośrednio pogarszać **JAKOŚĆ STOPIONEGO TWORZYWA**. Z drugiej strony zbyt niska temperatura gardzieli może doprowadzić do skraplania się wody znajdującej się w atmosferze, czego efektem są problemy takie jak hydroliza, spienienie stopionego tworzywa lub kratery.

Rys. 17 Chłodzenie gardzieli leja



4.2.2 Cylinder

Precyzyjne regulowanie temperatury wymaga zastosowania kilku strefowych sterowników nagrzewania cylindra (odpowiadających funkcjonalnym strefom ślimaka). We wszystkich przypadkach temperatura końcówki dyszy powinna być niezależnie i precyzyjnie regulowana za pomocą termopary. Przy wysokiej wydajności pracy konieczne jest zastosowanie cylindra o długości równej 20 średnicom, pozwalającego równomiernie rozgrzać stopione tworzywo.

Zużycie. Tuleje cylindrów typu „rura w rurze” wykazują doskonałą odporność na zużycie powodowane włóknem szklanym. Z drugiej strony azotowane powierzchnie cylindra nie wytrzymują tarcia poliamidu wzmocnionego włóknem szklanym i często, po krótkim okresie użytkowania, zaczynają się łuszczyć i wykazują nadmierne zużycie powierzchni.

4.2.3 Konstrukcja ślimaka

Dobrą jakość stopionego poliamidu uzyskać można tylko poprzez homogeniczne uplastycznienie tworzywa. Szybkość, z jaką ślimak może dostarczyć stopione tworzywo o odpowiedniej jakości zależy od jego konstrukcji, od termicznego i reologicznego zachowania się polimeru oraz od parametrów procesu technologicznego.

W zespole wtryskowym energia niezbędna do rozgrzania tworzywa do temperatury przetwarzania jest doprowadzona poprzez przewodzenie ciepła z cylindra oraz wytwarzana jest podczas rozcinania polimeru przez ślimak.

Przepływ ciepła ograniczony jest przewodnością cieplną polimeru, która jest niewielka. Ciepło ścinania zależy przede wszystkim od lepkości tworzywa i szybkości ścinania (ciśnienie wsteczne i prędkość obrotowa ślimaka). Tworzywa amorficzne, których lepkość zmienia się stopniowo wraz z temperaturą i których lepkość w temperaturze przetwarzania jest zazwyczaj wyższa, wymagają ślimaków głębszych i powodujących mniejsze ścinanie (rys. 19 - górny).

Polimery krystaliczne charakteryzują się gwałtownym spadkiem lepkości w temperaturze topnienia. W celu wytworzenia wymaganego ciepła ścinania konieczne jest wywołanie większego tarcia, a tym samym zastosowania płytszych i dłuższych odcinków dozujących (rys. 19 - dolny).

Z powyższych przyczyn, a także w celu osiągnięcia najwyższej jakości ciekłego tworzywa przy najwyższej wydajności urządzenia konieczne jest zastosowanie ślimaka o odpowiedniej konstrukcji. Niezależnie od tego ślimaki ogólnego stosowania dostarczane wraz z większością wtryskarek zazwyczaj nadają się do wtryskowego formowania tworzyw poliamidowych DuPont przy pracy z niską wydajnością*. W przypadku dużej wydajności pracy zastosowanie ślimaka specjalnie zaprojektowanego do wtryskowego formowania poliamidów ZYTEL® zapewni większą jednorodność ciekłego tworzywa oraz pozwoli uniknąć pozostawiania nieroztopionych cząstek tworzywa.

Zalecana konstrukcja ślimaka do pracy z dużą wydajnością pokazana jest na rysunku 18.

* „Niska wydajność” oznacza, że skok ślimaka jest nie większy niż 2-3D.

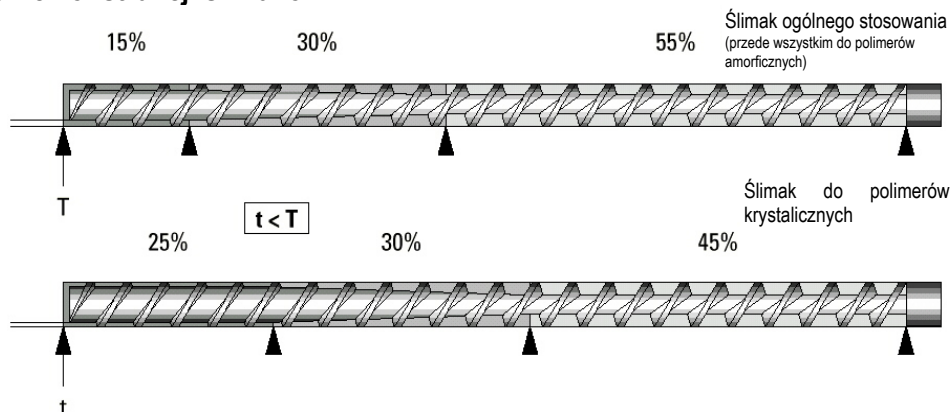
Rys. 18 Sugerowana konstrukcja ślimaka do niewzmocnionego tworzywa ZYTEL®.

		Wskazówki dotyczące zespołu wtryskowego ze ślimakiem 20L/D		
Średnica ślimaka	mm	30	50	70
Stopień sprężania		2,8-3	3-3,2	3-3,2
Głębokość dozująca	mm	1,95	2,10	
Prędkość obrotowa	obr/min	250	150	110
Prędkość obwodowa	m/s		0,4	
Ciśnienie wsteczne	MPa		*	
Skok optymalny w porównaniu ze średnicą ślimaka		od 1 do 2 średnic ślimaka		
Czas docisku (zgrubne oszacowanie)	min	Wydajność maksymalna * 2 *		czas cyklu (s) 60
Szybkość cofania ślimaka	g/s	20-25		
Cykl	s	HPT+SRT+otwieranie+wypchnięcie wypraski + zamknięcie		

HPT - czas docisku pod ciśnieniem SRT - czas cofania ślimaka

* Minimum przy zasilaniu ciągłym. Typowo od 5 do 10 MPa przed zaworem zwrotnym

Rys. 19 Porównanie konstrukcji ślimaków



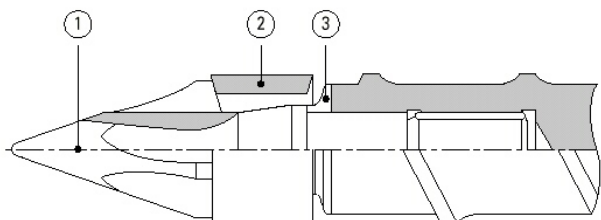
Zużycie. Zużycie ściernie ślimaka wtryskowego występuje przede wszystkim na krawędziach jego gwintu i powierzchniach jego styku z cylindrem. Z biegiem czasu średnica rdzenia ślimaka nieco się zmniejszy wskutek zużycia w strefie przejściowej i dozującej. (Zużycie w strefie podawania jest zazwyczaj wynikiem zbyt niskiej jak na daną wydajność temperatury w strefie tylnej).

Powierzchnie ulegające ścieraniu można utwardzić powierzchniowo za pomocą odpowiednich stopów - na przykład stellitu. Uzyskuje się w ten sposób lepszą odporność na ścieranie niż w przypadku ślimaków hartowanych lub azotowanych. Z tego powodu utwardzanie powierzchni stellem powinno mieć miejsce w ślimakach stosowanych do ciągłego przetwarzania wtryskowego tworzyw wzmocnionych włóknem szklanym. Zalecaną metodą utwardzania jest także chromowanie (możliwe jest nawet położenie powłoki zabezpieczającej przed zużyciem na całej powierzchni ślimaka w celu uzyskania jej całkowitego zabezpieczenia).

4.2.4 Zawór zwrotny

W wtryskarkach przetwarzających tworzywa poliamidowe DuPont znajdować się musi zawór z pierścieniem zwrotnym (zawór zwrotny), dzięki któremu utrzymać można stałe ciśnienie w formie oraz jednakową masę kolejnych wtrysków. Zawór zwrotny (rys. 20) musi być starannie zaprojektowany, z małymi tolerancjami, w taki sposób by nie utrudniał przepływu oraz by nie tworzył stref zalegania materiału. Wykonany musi być z odpowiednich gatunków stali odpornej na zużycie.

Rys. 20 Zawór zwrotny



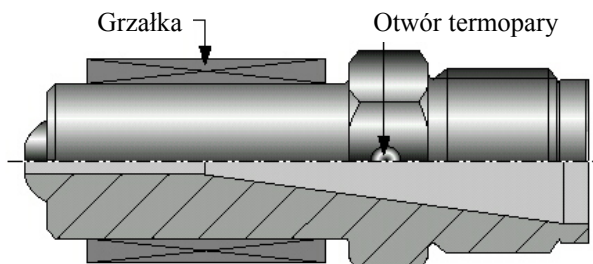
- 1 - Głowica
- 2 - Pierścień przesuwny
- 3 - Powierzchnia zamykająca

Zużycie. Zawór zwrotny jest elementem zespołu wtryskowego najbardziej narażonym na zużycie. Zawory zwrotne suwakowe pracujące z tworzywem wzmocnianym włóknem szklanym ulegają szybkiemu i znaczącemu zużyciu w szczególności gdy nie są właściwie utwardzone. Nawet modele z powierzchniami utwardzonymi zużywają się i wymagają szczególowej kontroli. Zużyte gniazda i tuleje muszą być wymienione ze względu na znaczenie utrzymania warstwy pośredniej (poduszki) podczas wtryskiwania roztopionego tworzywa. Dobre wyniki osiągnięto stosując wysoko wytrzymałe stale chromowe.

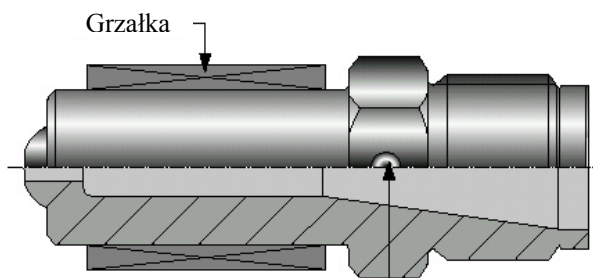
4.2.5 Dysza

Do wtryskiwania wszystkich tworzyw poliamidowych DuPont zaleca się stosowanie otwartych dysz ogrzewanych (patrz rys. 21). Ze względu na większą lepkość roztopionego tworzywa z włóknem szklanym, średnica otworu dyszy stosowanej do wtryskiwania takiego tworzywa powinna być o około 25% większa niż w przypadku dysz do poliamidów niewzmocnionych. Ze względu na konieczność uniknięcia zarówno degradacji materiału jak i powstawania osadów spowodowanych zbyt niską temperaturą bardzo ważne jest nadzorowanie temperatury i właściwe umieszczenie strefy grzewczej.

Rys. 21 Zalecane dysze otwarte



Gdy nie można zastosować dekompresji



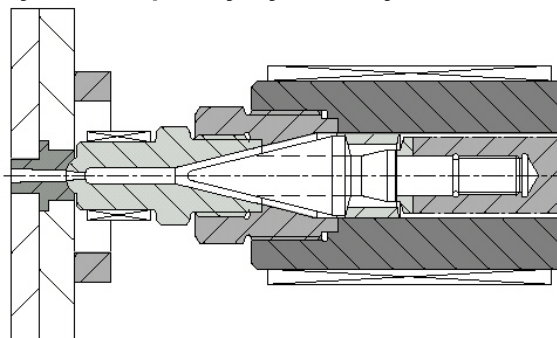
Zazwyczaj zalecana

Otwór termopary

4.2.6 Dysze samozamykające

Zastosowanie dyszy samozamykającej zawsze prowadzi do osadzania się zanieczyszczeń. Ze względu na to, że suwak zaworu ociera się o ściankę zaworu, powstają na nim miejsca, w których gromadzić może się tworzywo. W momencie gdy w miejscach tych nastąpi rozkład tworzywa, ciśnienie może uciec tylko przez tylną część ślimaka, czego efektem są wsteczne wydmuchy materiału.

Rys. 22 Adapter dyszy otwartej



4.2.7 Eliminacja stref zalegania tworzywa

Podstawowym celem przy projektowaniu wtryskarki, co obejmuje cylinder grzewczy i elementy przez które przepływa roztopione tworzywo (zawór zwrotny, głowica ślimaka, adapter i dysza) powinno być uzyskanie niezakłóconego przepływu tworzywa. Szczególnie ważne jest wyeliminowanie wszelkich możliwych i potencjalnych stref zalegania tworzywa, takich jak:

a) Przylegające do siebie powierzchnie adaptera i cylindra oraz adaptera i dyszy

b) Zawór zwrotny lub zawór odcinający w głowicy ślimaka, w miejscu gdzie przylegające do siebie powierzchnie nie mogą być obrabione tak, by uniknąć powstania zagłębień lub miejsc zalegania tworzywa. Z doświadczenia wynika, że jeżeli tylko takie nieprawidłowości występują, to wraz z nimi pojawiają się problemy z zanieczyszczeniem i czarnymi plamami na wyprasce.

c) Dysza odcinająca (z zaworem odcinającym), która sprzyja gromadzeniu się zanieczyszczeń, w szczególności podczas pracy z tworzywami wzmocnionymi włóknem szklanym, a ponadto stosowanie takiej dyszy stwarza zagrożenie dla ludzi.

Optymalna konstrukcja przedstawiona jest na rys. 22 (zespół składający się z zalecanej dyszy otwartej, adaptera i zaworu zwrotnego). W rozwiązaniu tym powierzchnie styku części znajdują się w złączach walcowych, a ponadto zastosowana jest dysza otwarta.

4.3 Obsługa i bezpieczeństwo pracy

Podczas przetwórstwa na wtryskarce tworzyw poliamidowych operator nie musi dodatkowo sprawdzać maszyny, o ile jest ona prawidłowo wybrana i prawidłowo wykorzystywana. Należy jednak zwrócić uwagę na zużycie zaworu zwrotnego, jeżeli do formowania wtryskowego wykorzystywane jest tworzywo zawierające włókno szklane.

Cylinder wtryskowy powinien mieć osłonę chroniącą pracowników przed oparzeniem.

5. Konstrukcja formy wtryskowej

5.1 Materiał formy wtryskowej

Zasadniczo zużycie gniazda (przestrzeni wypraski), kanału wlotowego i kanałów doprowadzających nie jest tak istotne jak zużycie przewężki. Podczas przepływu roztopionego tworzywa przez kanały i gniazda tworzy się cienka powłoka zakrzepłego tworzywa przeciwdziałająca zużyciu. W miejscach o dużym natężeniu przepływu i intensywnym ścinaniu występować będzie lokalne zużycie spowodowane pęknięciami tej warstwy ochronnej (w szczególności dotyczy to przetwarzania tworzyw wzmocnionych).

W przypadku tworzyw wzmocnionych duże znaczenie ma prawidłowe podparcie formy (w celu uniknięcia ewentualnego jej ugięcia) oraz zastosowanie wystarczającej siły docisku w celu uniknięcia powstawania wypływów tworzywa. Gniazda muszą być dobrze odpowietrzane w celu zapobieżenia korozji wywołanej przez uwieszone gazy w punkcie styku połówek formy (efekt Diesla).

Obszar przewężki formy jest narażony na zużycie szczególnie wówczas, gdy ma on mały przekrój (przewężki precyzyjne i tunelowe). Obszary te należy regularnie sprawdzać w celu wykrycia ewentualnej erozji powierzchni, która może prowadzić do powstawania stref zalegania tworzywa i zanieczyszczenia wypraski tworzywem zdegradowanym.

5.2 Systemy kanałów doprowadzających

Poniżej podane są główne wskazówki dotyczące projektowania systemu kanałów doprowadzających.

- Kanały należy tak rozplanować by przynosiły ciśnienie równomiernie do wszystkich gniazd .
- Przekroje kanałów powinny być na tyle duże, by zapewnić odpowiedni przepływ cieczy, minimalny spadek ciśnienia, minimalne ścinanie (szczególnie przewężki dla poliamidów wzmocnionych). Ponadto kanały zapewnić muszą utrzymanie odpowiedniego ciśnienia podczas całego procesu krystalizacji (rys. 23).
- Droga płynięcia tworzywa powinna być jak najkrótsza .

5.2.1 Kanały wlewowe

Kanały te powinny być jak najkrótsze oraz dokładnie wypolerowane, zaś ich wyloty powinny łagodnie łączyć się z systemem kanałów doprowadzających (przejście pomiędzy wlewem a kanałem doprowadzającym powinno być wykonane łukowo). Wejście do tulei kanału wlewu powinno mieć średnicę od 1 do 3 mm większą niż wylot z dyszy wtryskarki. Otwór kanału wlewu powinien mieć kształt stożkowy, o kącie zbieżności od 1 do 5°.

Kanał wlewowy powinien być na tyle duży, by nie dochodziło w nim do przedczesnego krzepnięcia lub blokowania przepływu. Istotnym zagadnieniem jest staranne zaprojektowanie zabieraka wlewka, to znaczy w taki sposób, by uniknąć jego zakleszczania .

Z tego powodu z otworu kanału wlewu usunąć należy wszelkie ostre podcięcia. Zabierak wlewka musi być długi,

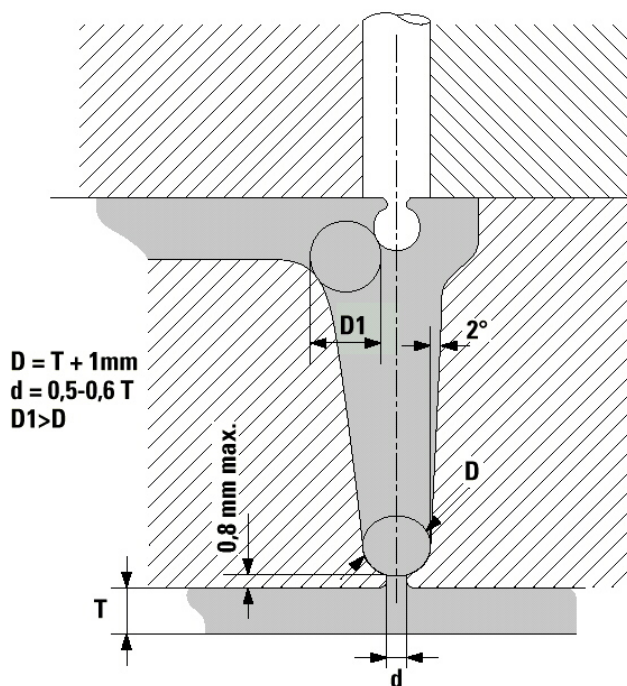
jednakże na tyle cienki, by zakrzepł w momencie zakończenia cyklu .

5.2.2 Kanały doprowadzające

Systemy kanałów zrównoważonych i niezrównoważonych

W systemach kanałów zrównoważonych zachowana jest równa odległość przepływu tworzywa z kanału wlewowego do gniazd. System ten zapewnia największą równomierność przepływu z kanału głównego do każdego z gniazd, co sprzyja utrzymaniu wymiarów wyprasek w granicach tolerancji, o ile tylko kanały doprowadzające i przewężki są prawidłowo zwymiarowane. Zakończenia kanałów doprowadzających oraz połączenia pomiędzy nimi powinny być poprowadzone łukiem w celu uzyskania niezakłóconego, równomiernego przepływu cieczy (rys. 23). W kanałach nie mogą też znajdować się jakiegokolwiek przeszkody, a w przypadku stosowania zabieraków (jak na rys. 23) przekrój kanału musi być odpowiedni (wpisany okrąg o średnicy $D1$).

Rys. 23 Konstrukcja przewężki wtryskowej



W miarę możliwości należy stosować kanały doprowadzające o przekroju okrągłym. W kanałach takich stosunek powierzchni do ich objętości jest najmniejszy, a tym samym najmniejsze są straty ciśnienia i ciepła. Minimalna średnica kanału okrągłego zazwyczaj wynosi około 3 mm lub około 1,5 grubości detalu. Kanały o większej średnicy powinny być stosowane przy wytwarzaniu grubszych detali, zaś kanały mniejsze - do detali cienkich. Najdokładniejszym sposobem wyznaczenia wymiarów kanału doprowadzającego jest obliczenie przewidywanego spadku ciśnienia, a następnie odpowiednie dobranie wymiarów.

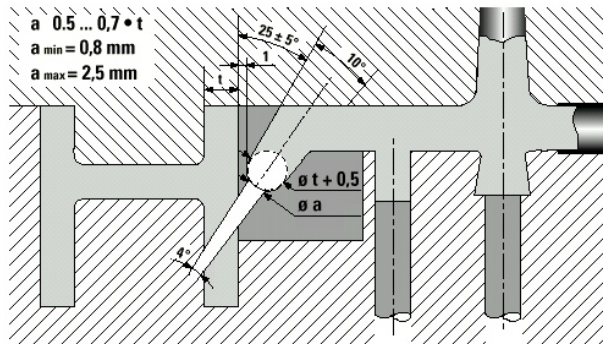
W przypadku zastosowania kanałów o przekroju trapezowym, pochylenie ścian kanału powinno być równe

5° na stronę, zaś głębokość kanału należy wyznaczyć na podstawie średnicy koła wpisanego w jego przekrój.

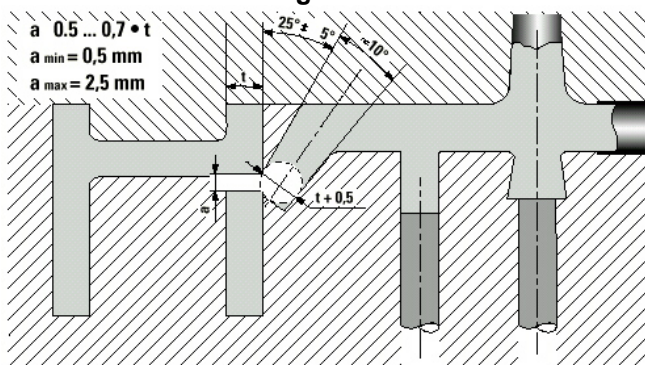
5.2.3 Przewężki

Wszystkie typy przewężek sprawdzają się bez zarzutu podczas pracy z tworzywami poliamidowymi DuPont. Ważne zagadnienia związane z przewężkami to ich umiejscowienie, wymiary i ilość. Na rysunku 24a i b przedstawiono konstrukcję przewężki tunelowej. Inne typy przewężek pokazane są na rysunku 25.

Rys. 24a Przewężka tunelowa do poliamidu wzmocnionego



Rys. 24b Przewężka tunelowa do poliamidu niewzmocnionego



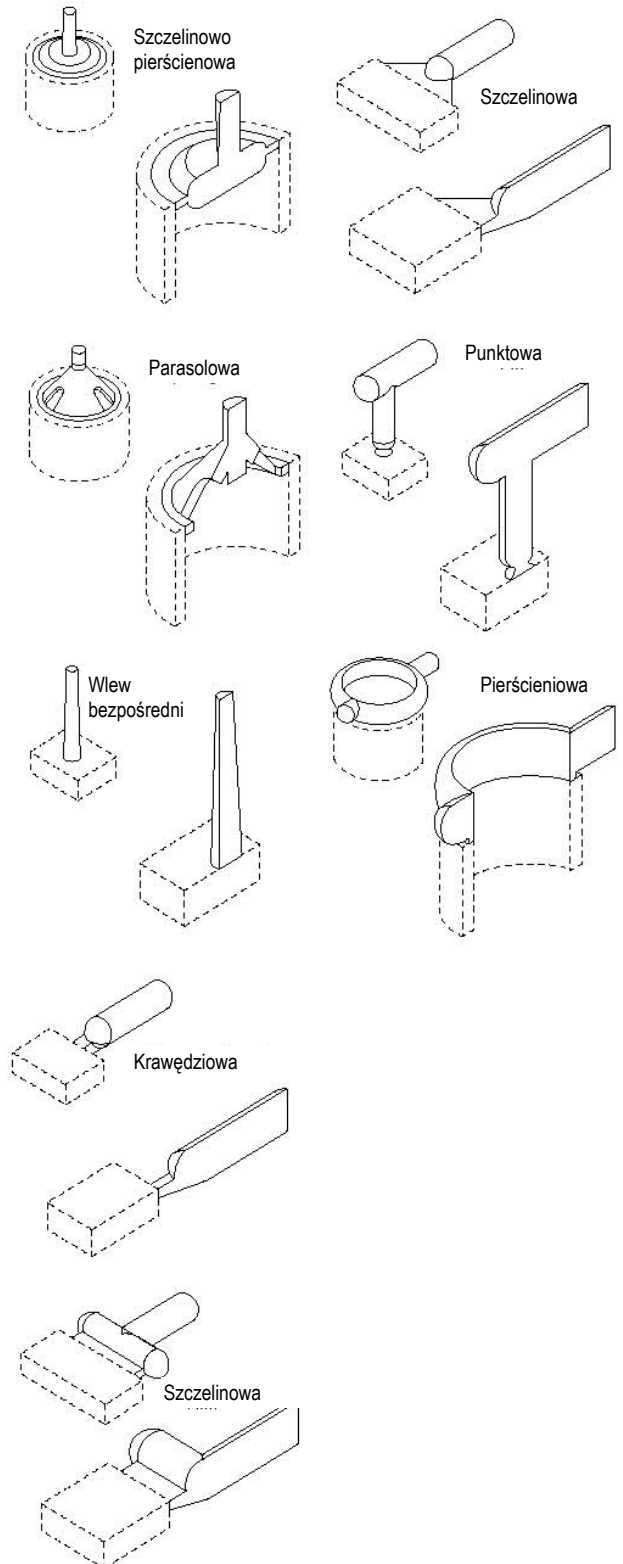
Oszacowanie wymiarów przewężek

Zasadniczo grubość przewężki powinna wynosić od 45 do 75% grubości wypraski. Dla przewężek prostokątnych ich grubość powinna stanowić 65% grubości detalu, zaś szerokość przewężki powinna być równa jednej do dwóch grubości przewężki. Wymiar zakończenia przewężki nie powinien być większy niż 1mm.

Zalecana minimalna średnica przewężki tunelowej wynosi 0,7mm, jednakże nigdy nie powinna przekroczyć 2,5 mm. Długa przewężka tunelowa jest elementem krytycznym dla formy wtryskowej i konieczne jest tu unikanie typowej „konstrukcji amorficznej”.

Poliamidy wzmocnione włóknem szklanym. Przewężki tunelowe i punktowe mogą być stosowane pod warunkiem, że ich średnica jest większa niż 0,7 mm.

Rys. 25 Różne typy przewężek



Przewężki o zbyt małym przekroju zazwyczaj powodują wzrost skurczu i pofałdowania powierzchni, a także powiększają ryzyko pęknięcia włókien (patrz rys. 11: *Zachowanie własności mechanicznych jako funkcja długości włókna*). Unikać należy stosowania przewężek punktowych o średnicy większej niż 2 mm, ponieważ utrudniają one odłamywanie wypraski od przewężki podczas zrywania.

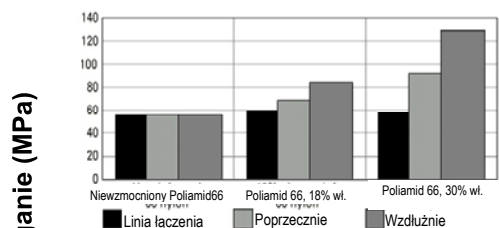
Położenie przewężki. Jeżeli grubość detalu jest bardzo zróżnicowana, to najlepszym rozwiązaniem jest umieszczenie przewężki w jej grubszym fragmencie, gdyż uprości to napełnianie i zminimalizuje ewentualne wypaczenia i pustki (jamy usadowe).

W celu zminimalizowania defektów powierzchniowych i uniknięcia wtrysku strugowego, strumień z przewężki powinien trafić na ścianę gniazda lub na rdzeń. Przewężki nie należy jednak tak umieszczać, by strumień tworzywa uderzał bezpośrednio w rdzeń, który nie jest zamocowany w obu połówkach formy.

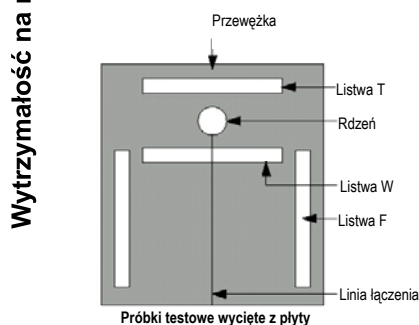
Lokalizacja przewężki determinuje sposób położenia linii zgrzania (szwu), a tym samym kanałów odpowietrzających (patrz punkt 5.3 *Odpowietrzanie*).

W przypadku poliamidów wzmocnianych włóknem szklanym usytuowanie przewężki ma niezwykle ważne znaczenie dla zmniejszenia deformacji wypraski po jej uformowaniu i zachowania przewidzianych końcowych własności. Przyczyną tego jest skłonność włókien do ustawiania się zgodnie z kierunkiem przepływu ciekłego tworzywa (patrz rys. 26).

Rys. 26 Wpływ położenia przewężki i kierunku przepływu na własności mechaniczne



Zależność pomiędzy zorientowaniem polimeru, linią połączenia a wytrzymałością na rozciąganie



F – wzdłużnie do kierunku płynięcia tworzywa
W – z linii łączenia tworzywa
T – poprzecznie do kierunku płynięcia tworzywa

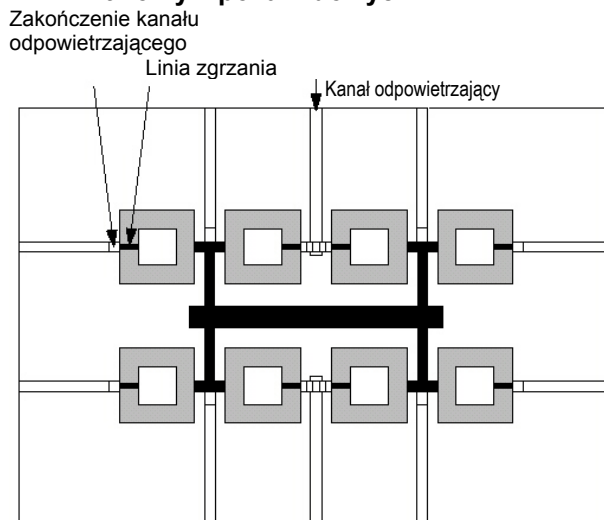
5.3 Odpowietrzanie

Nieodpowiednie odpowietrzenie formy może być przyczyną poniższych problemów:

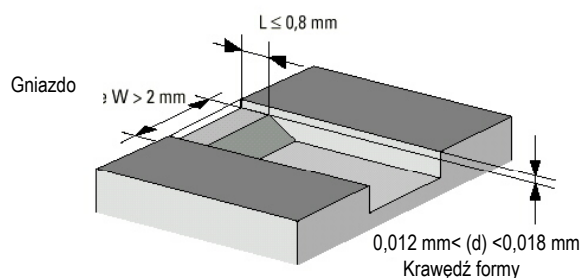
- małej wytrzymałości na linii zgrzania
- odbarwienia (przypalenia) poliamidu
- erozji lub korozji gniazd
- wahaniu wymiarowemu produkowanych detali
- niepełnego wypełnienia gniazd formy

Zarówno gniazda jak i kanały doprowadzające powinny być odpowietrzane na podziale formy w sposób wskazany na rysunku 27.

Rys. 27 Geometria systemu odpowietrzającego dla tworzyw poliamidowych



Zakończenie kanału odpowietrzającego



Powierzchnia przekroju odpowietrzenia musi być na tyle duża ($W \times d$), by uniknąć ryzyka sprężania gazów w gniazdach formy. Długość odpowietrzenia nie powinna przekraczać 1 mm. Przekrój kanału odpowietrzającego poprowadzony od odpowietrzenia powinien wzrastać proporcjonalnie do jego odległości od krawędzi gniazda. Konstrukcja taka sprzyja zredukowaniu „efektu Venturiego”, a tym samym ogranicza ilość osadów powstających w formie.

5.4 Podcięcia i zbieżności

Poniżej podane są ogólne zalecenia dotyczące podcięć w detalach z tworzyw poliamidowych:

- podcięcie powinno być zaokrąglone (także na krawędziach), dzięki czemu ułatwione będzie przesunięcie wypraski po metalu.
- jeżeli widoczne są wyraźne deformacje podcięcia, to parametry wtrysku należy tak zmodyfikować, by efekt ten zminimalizować. Często zdarza się, że wyższe temperatury formowania lub krótsze cykle sprzyjają uwolnieniu podcięć wewnętrznych, zaś dłuższe cykle i większy skurcz ułatwiają uwalnianie podcięć zewnętrznych.

Ze względu na małe wydłużenie poliamidów wzmacnianych włóknem szklanym unikać należy podcięć większych niż 3%. Wystarczająca zbieżność żeber, występów, boków i kanałów mieści się w granicach 1/4 do 1°.

5.5 Regulacja układu chłodzenia w formie

Ze względu na duży wpływ temperatury formy na stopień krystalizacji a tym samym i własności mechaniczne detali wykonanych z tworzyw krystalicznych, układ chłodzenia powinien być zaprojektowany z dużą starannością w celu zapewnienia jednakowej temperatury ścian gniazda formy.

Formy pracujące bez jakiegokolwiek układu chłodzenia osiągają w końcu stan równowagi, gdyż ciepło doprowadzane do nich wraz z płynnym polimerem zrównuje się z ciepłem odprowadzanym poprzez promieniowanie, przewodzenie i konwekcję. Temperatura formy przy optymalnym cyklu roboczym będzie mieć wartość pośrednią pomiędzy bardzo wysoką, ułatwiającą napełnianie i sprzyjającą uzyskaniu dobrej jakości powierzchni, a bardzo niską, przyspieszającą przechodzenie tworzywa w stan stały oraz ułatwiającą uwalnianie wyprasek. Najlepszym rozwiązaniem byłoby umieszczenie kanałów chłodzących w tych obszarach, które wymagają największego przepływu ciepła. Kanały te powinny być oddalone od gniazda formy o co najmniej jedną średnicę kanału.

W celu uzyskania jednakowej temperatury całej formy różnica temperatur pomiędzy dopływem a odpływem cieczy chłodzącej (wody, oleju itp) powinna być jak najmniejsza (max. 5°). Szybkość przepływu chłodziwa przez kanały powinna być na tyle duża, by małe jej fluktuacje nie zmieniały temperatury formy. Jeżeli wymagana jest wysoka precyzja formowania, to gniazda powinny być chłodzone w układzie równoległym, który zapewnia mniejsze zróżnicowanie temperatur niż układ szeregowy.

Projektant formy podczas wymiarowania kanałów musi zrealizować dwa przeciwstawne zadania:

- przekrój kanału musi być na tyle duży, by mieć pewność, że natężenie przepływu chłodziwa jest wystarczające do odprowadzenia ciepła.
- Przekrój kanału musi być na tyle mały, by przepływ w nim miał charakter turbulentny, gdyż współczynnik przejmowania ciepła w takich warunkach jest największy.

5.6 Formy z gorącymi kanałami

Na rynku dostępne są liczne systemy wykorzystujące gorące kanały doprowadzające, zaś ich dostawcy proponują bardzo zróżnicowane rozwiązania konstrukcyjne. Dzięki temu możliwe jest dobranie systemu odpowiadającego danemu zastosowaniu i typowi tworzywa.

Zakresy przetwórstwa i zachowania się tworzywa odzwierciedlane przebiegiem krzepnięcia tworzyw amorficznych znacznie odbiegają od takich samych parametrów dla tworzyw semikrystalicznych. Należy zwrócić na to szczególną uwagę. W każdym przypadku konieczny jest staranny dobór systemu z gorącymi kanałami doprowadzającymi, w szczególności jeżeli przetwarzane będą niepalne gatunki tworzyw.

W punkcie tym przedstawione są główne wskazówki dotyczące doboru systemu z gorącymi kanałami doprowadzającymi oraz wymagania konstrukcyjne przy przetwarzaniu tworzyw ZYTEL® /MINLON®.

Izolacja termiczna

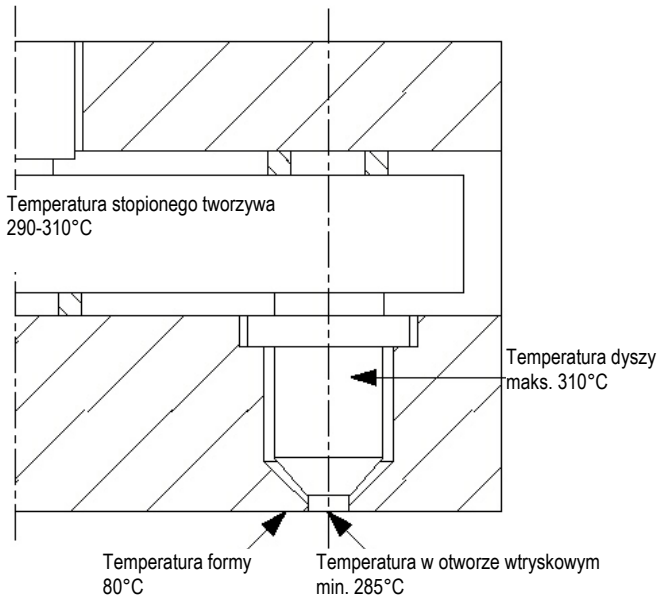
Ze względu na wąski przedział technologiczny wyznaczany temperaturą topnienia poliamidu konieczne jest zastosowanie bardzo dobrze zaprojektowanej izolacji termicznej pomiędzy gorącym kanałem doprowadzającym a formą. Celem tego jest uniknięcie dużych różnic temperatury w obrębie systemu (patrz przykłady dla odmian poliamidu 66 na rysunkach 28 i 29).

Rozdzielacz

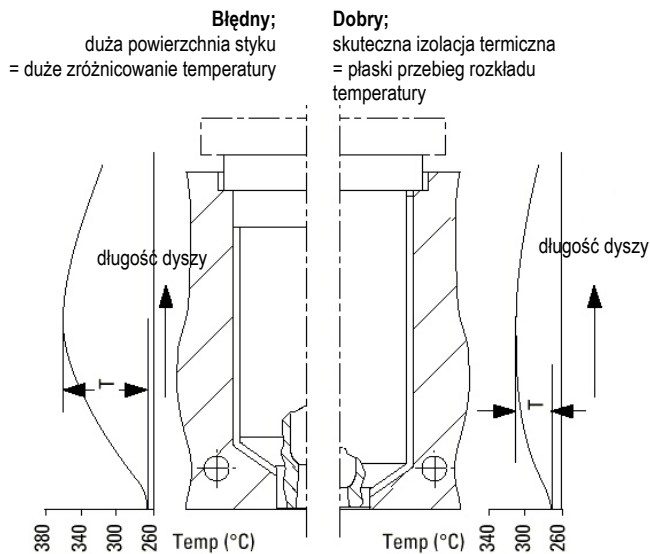
Prawidłowe traktowanie stopionego tworzywa wymaga zapewnienia równomiernego rozkładu temperatur. W konstrukcji rozdzielacza uwzględnione muszą być poniżej przedstawione zasady:

- niski spadek ciśnienia
Zaleca się stosowanie tylko takich rozdzielaczy, których średnica w pełni odpowiada prawidłowemu przepływowi strumienia stopionego tworzywa (rys. 30). Nie jest wskazane stosowanie systemów z ogrzewaniem wewnętrznym i przepływem pierścieniowym.
- Zaleca się stosowanie ścieżek przepływu bez ślepych kanałów (rys. 31).
- Zaleca się stosowanie zrównoważonych układów dysz (rys. 32). Gwarantuje to równomierny spadek ciśnienia i identyczne czasy dopływu w każdym punkcie wtrysku.

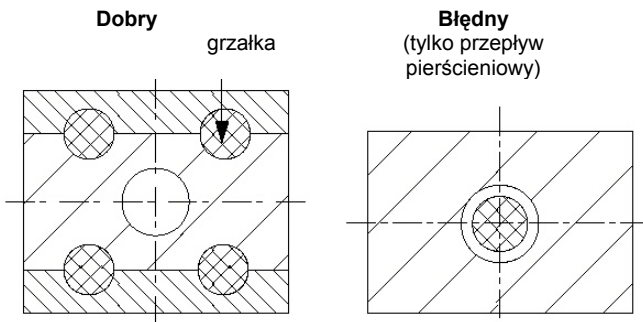
Rys. 28 Temperatura w obszarze gorącego kanału doprowadzającego dla PA 6.6



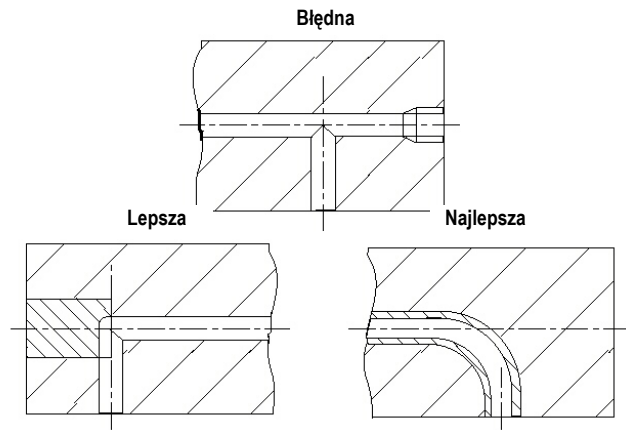
Rys. 29 Wpływ izolacji cieplnej na rozkład temperatur w dyszy



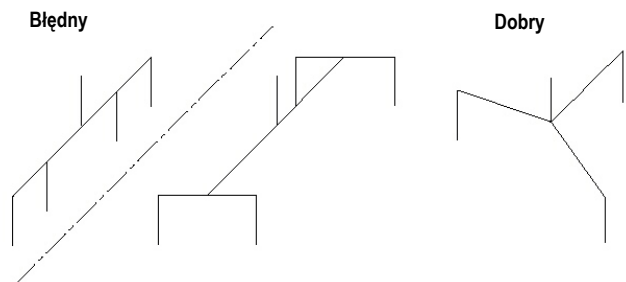
Rys. 30 Przekrój przez kanały rozdzielacza



Rys. 31 Konstrukcje kanałów



Rys. 32 Układ dysz do równoczesnego zasilania kilku gniazd



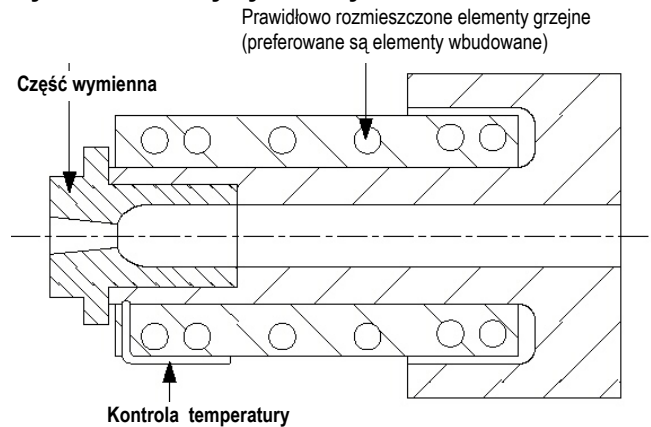
Dysze

Podstawą uzyskania dobrych wyników jest zapewnienie małego spadku ciśnienia i dobrego rozkładu temperatur dzięki zastosowaniu termopary w obrębie otworu wtryskowego.

Najlepsze rozwiązanie:

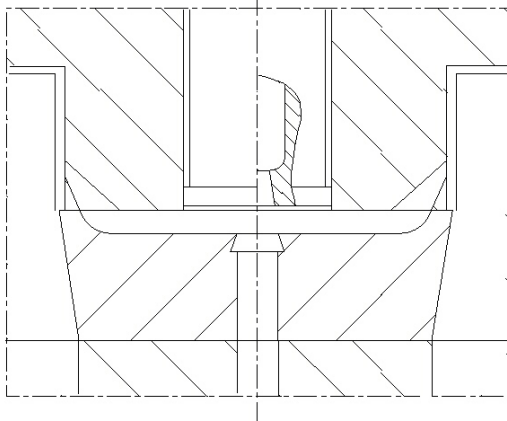
Stosowane być powinny, o ile jest to możliwe, otwarte dysze z ogrzewaniem zewnętrznym i kanałem zapewniającym swobodny przepływ stopionego tworzywa (patrz rys. 33).

Rys. 33 Zalecany system dysz



Rozwiązanie takie można stosować tam, gdzie wykorzystywane są zimne pomocnicze kanały doprowadzające (rys. 34).

Rys. 34 Zimny pomocniczy kanał doprowadzający z dyszą ogrzewaną zewnątrz



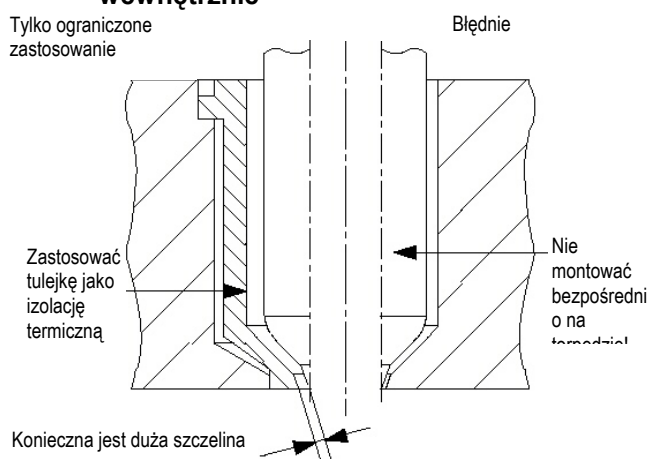
Ten sposób jest szczególnie zalecany dla materiałów wzmocnionych włóknem szklanym lub materiałem mineralnym. Otwór znajdujący się na przeciw otworu wtryskowego wychwytuje wszelkie zimne wtrącenia stałe wydobywające się z otworu wtryskowego.

Rozwiązanie mniej korzystne:

- dysze dzielące strumień na dwa lub kilka małych strumieni
- dysze z przestrzeniami umożliwiającymi zaleganie tworzywa w strefie przedniej
- Systemy ogrzewane wewnątrz z przepływem pierścieniowym

Jeżeli konieczne jest zastosowanie takich konstrukcji do wtrysku bezpośredniego w celu uzyskania bardzo małego punktu wtryskiwania, to bardzo istotne jest zastosowanie tulejki w charakterze izolacji termicznej (rys. 35).

Rys. 35 Dysza z gorącym kanałem doprowadzającym ogrzewanym wewnątrz



Użycie dysz igłowych zawsze stanowi kompromis. Jeżeli będą one zastosowane w celu uzyskania bardzo wysokiej jakości powierzchni w strefie otworu wtryskowego, to pamiętać należy o tym, że:

- są one nie tylko bardzo drogie, ale powodują także duży spadek ciśnienia spowodowany przez pierścieniowy przepływ cieczy. Nie jest możliwe w nich dobre

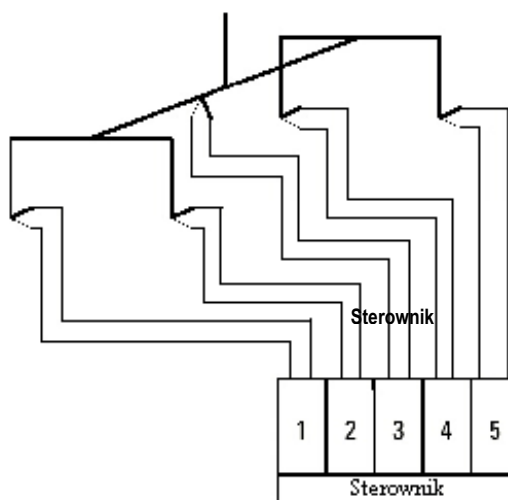
zaprojektowanie dróg przepływu. W przypadku przetwórstwa tworzyw wzmocnionych pojawić się mogą problemy w systemie zamykającym (uszczelniającym).

- Zastosować należy kombinację dysza / igła o dużym przekroju. Zaleca się stosowanie zespołów sterowanych hydraulicznie i unikanie systemów sprężynowych.

Regulacja temperatury

Zaleca się stosowanie odrębnych systemów regulacji temperatury rozdzielacza i poszczególnych dysz. Powinny to być systemy ze sprzężeniem zwrotnym (rys. 36). Najlepsze wyniki uzyskuje się stosując automatyczne regulatory temperatury typu PID, gdyż zapewniają one najmniejsze wahania temperatury wokół zadanego punktu pracy.

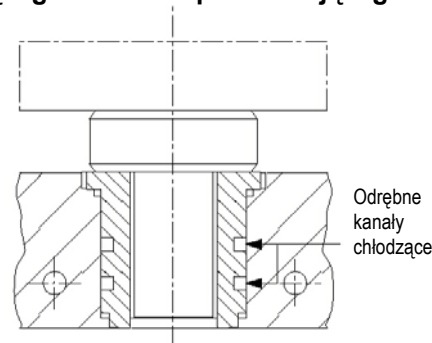
Rys. 36 Regulacja temperatury poszczególnych dysz i rozdzielacza



Kanały chłodzące w formach z gorącymi kanałami doprowadzającymi

Korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie odrębnych kanałów chłodzących w obszarze dyszy z gorącym kanałem doprowadzającym (rys. 37). W takim układzie łatwo można uzyskać odpowiednie warunki temperaturowe w obszarze gorącego kanału doprowadzającego bez równoczesnego oddziaływania na temperaturę całej formy.

Rys. 37 Odrębne kanały chłodzące w obszarze gorącego kanału doprowadzającego



6. Warunki przetwarzania wtryskowego

6.1 Temperatura stopionego tworzywa

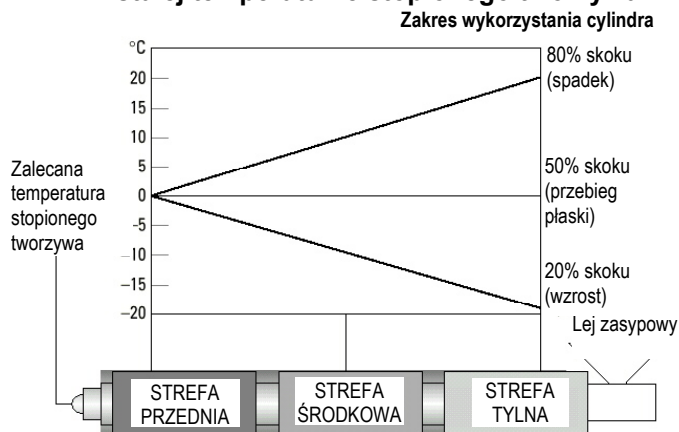
Temperatura stopionego tworzywa mierzona jest bezpośrednio w ciekłym polimerze (za pomocą pirometru igłowego) i powinna być ona regularnie sprawdzana podczas pracy wtryskarki w celu upewnienia się, że mieści się ona w zalecanych granicach. Typowe temperatury stopionych poliamidów DuPont są podane w CZĘŚCI II.

6.2 Rozkład temperatur w cylindrze

Temperatura stopionego tworzywa oraz jej równomierny rozkład w ślimaku uzależniony jest od nastaw temperatury cylindra, konstrukcji ślimaka i czasu przebywania tworzywa w cylindrze. Należy zapewnić niezależne sterowanie temperaturą wszystkich trzech stref cylindra. Także temperatura dyszy musi być niezależnie kontrolowana.

Na rysunku 38 przedstawiono przebieg temperatur w cylindrze w stosunku do zalecanej temperatury ciekłego tworzywa jako funkcję skoku. Istnieją różne konstrukcje ślimaków, maszyn i cylindrów i dlatego nie jest możliwe wskazanie przebiegu temperatury uniwersalnej dla wszystkich przypadków.

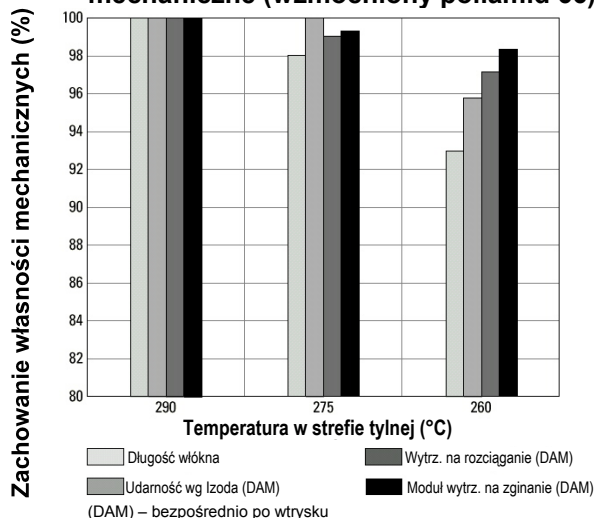
Rys. 38 Rozkład temperatury w cylindrze przy stałej temperaturze stopionego tworzywa



Temperatura w strefie leja zasypowego ma duże znaczenie i musi być utrzymywana, przy pomocy prawidłowo umieszczonego systemu chłodzenia, w przedziale 70-90°C, co ma zapobiec tworzeniu się mostków tworzywa i jego przegrzewaniu (rys. 16 i 17).

W przypadku poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym, rozkład temperatur w cylindrze może zmniejszyć długość włókien w produkowanych detalach zwłaszcza jeżeli ustawienie regulatora tylnej strefy jest zbyt niskie. Ponadto w momencie pojawienia się dużych momentów obciążających wzrasta czas cofania ślimaka. Jak wynika z rysunku 39 obniżenie temperatury krytycznej w strefie tylnej zmniejsza średnią długość włókien szklanych, a tym samym powoduje spadek udarności wg Izoda, wytrzymałości na zrywanie oraz wytrzymałości na zginanie. Najbardziej spada jednak udarność detali.

Rys. 39 Wpływ temperatury w tylnej strefie na średnią długość włókna i własności mechaniczne (wzmocniony poliamid 66)



Zalecaną minimalną temperaturą strefy tylnej dla poliamidu 66 wzmocnionego włóknem szklanym jest 290°C. Nadmierny wzrost tej temperatury może spowodować przedwczesne stopienie się polimeru, sklejanie granulek i nieprawidłowe podawanie tworzywa.

Podczas wtryskowego przetwarzania poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym wysokie temperatury w tylnej strefie cylindra należy stosować w celu:

- zwiększenia prędkości ruchu wstecznego ślimaka
- zmniejszenia uszkodzeń włókien szklanych
- zmniejszenia potencjalnych problemów związanych ze zużyciem części, spowodowanych tarcieniem pomiędzy nieroztopionymi cząstkami a ślimakiem i/lub cylindrem.
- zmniejszenia momentów obciążających ślimak, a tym samym zapobieżenia zatrzymaniu ślimaka lub jego uszkodzeniu przy krótkich cyklach pracy.

6.3 Temperatura dyszy

Dysza powinna działać wyłącznie jako rura transportująca stopione tworzywo i nie może wpływać na jego temperaturę. Temperaturę dyszy należy tak wyregulować, by tworzywo w niej nie zastygało ani nie kapało z niej. W celu uzyskania optymalnych warunków dysza powinna posiadać odrębny sterownik połączony z punktem pomiaru leżącym w pobliżu przepływu tworzywa. Przy stosowaniu standardowych otwartych dysz (patrz rys. 21) zaleca się przyjęcie tylko kilku milimetrowego obszaru dekompresji zapobiegającego wyciekaniu tworzywa. W przypadku długich dysz konieczne może być wprowadzenie drugiej, niezależnie sterowanej, grzałki. W sytuacji takiej jedną grzałkę umieszcza się z przodu dyszy, zapobiega ona krzepnięciu oraz wyciekaniu tworzywa, drugą z tyłu dyszy i ma ona za zadanie utrzymanie stałej temperatury w dyszy.

6.4 Prędkość i ciśnienie wtrysku

Wszystkie nowoczesne wtryskarki dają możliwość regulacji ciśnienia wtrysku niezbędnego do uzyskania założonej prędkości napełniania formy.

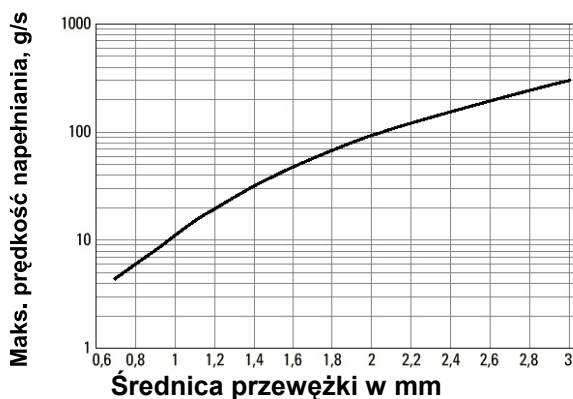
Optymalna prędkość wtrysku zależy od geometrii wytwarzanego detalu, wielkości przewężki i temperatury stopionego tworzywa. Podczas wtryskowego wytwarzania cienkich detali zazwyczaj konieczne jest szybkie napełnienie formy, gdyż musi się ono zakończyć zanim tworzywo zakrzepnie. W przypadku detali grubych lub detali ze stosunkowo małymi przewężkami pożądane jest czasami zmniejszenie prędkości wtrysku w celu opóźnienia momentu zakrzepnięcia przewężki, a przez to przeznaczenia możliwie długiego czasu na zagęszczenie detalu.

Połysk powierzchni będzie bardziej równomierny przy szybkim wtrysku, dzięki któremu forma zostanie wypełniona zanim poliamid zacznie krystalizować.

Prędkość wtrysku poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym lub w inny sposób, musi być wyższa gdyż tworzywa takie krzepną szybciej niż poliamidy nie wzmocnione.

Pamiętać należy, że zbyt wysoka prędkość ścinania w przewężce może negatywnie wpłynąć na własności wypraski. Na rysunku 40 znajdują się wskazówki dotyczące gatunków poliamidu niewzmoczonego. Niska jakość wykończenia powierzchni (krystaliczność) zazwyczaj jest wynikiem zbyt wczesnego, spowodowanego zbyt wolnym wtryskiem, skrzepnięcia tworzywa. Wadę taką często myli się z nierównomiernym rozproszaniem włókien szklanych lub zawilgoceniem tworzywa (kraterami).

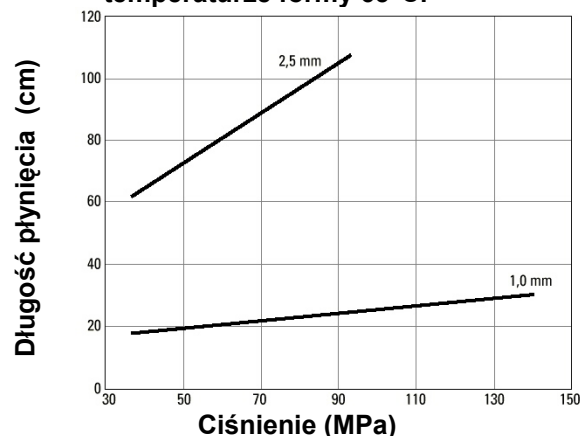
Rys. 40 Maksymalna prędkość napełniania w funkcji średnicy przewężki - poliamid niewzmocniony 66



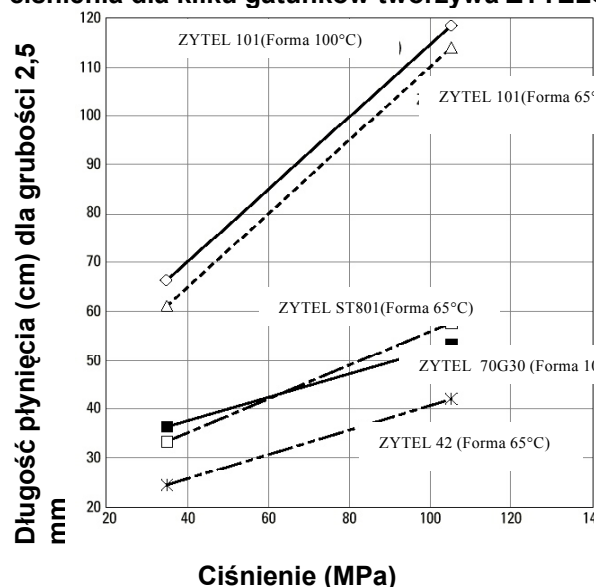
Lepkość stopionego tworzywa zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości włókna szklanego. Z tego powodu ciśnienie wtrysku tworzyw poliamidowych wzmocnionych włóknem szklanym jest wyższe niż w przypadku tworzyw nie wzmocnionych. Zazwyczaj konieczne jest stosowanie ciśnień w granicach 75 do 100 MPa.

Wpływ ciśnienia wtrysku na przepływ niektórych gatunków poliamidu w 1,0 i 2,5 milimetrowym spiralnym układzie przepływowym pokazany jest na rysunkach 41 i 42.

Rys. 41 Charakterystyka przepływu w funkcji ciśnienia dla tworzywa ZYTEL® 101 w temperaturze formy 65°C.



Rys. 42 Charakterystyka przepływu w funkcji ciśnienia dla kilku gatunków tworzywa ZYTEL®.



Nadmierne ciśnienie panujące tuż przed całkowitym napełnieniem formy może nadmiernie obciążać obszar w pobliżu przewężki i spowodować pogorszenie własności wytwarzanej wypraski.

Często wskazane jest stosowanie dwustopniowego cyklu napełniania:

- Początkowy wtrysk odbywa się z dużą prędkością w celu zgodnego z wymaganiami napełnienia formy, po czym
- prędkość napełniania **zmniejsza się** w celu uniknięcia przegrzania w końcowej fazie napełniania.
- Moment przejścia od dynamicznego wtrysku do statycznego podtrzymywania ciśnienia (punkt przełączenia) należy jak najbardziej odsunąć w czasie, jednakże musi on nastąpić przed całkowitym napełnieniem formy.

6.4.1 Dynamiczny spadek ciśnienia (DPD)

Po wyposażeniu formy w czujniki ciśnienia wykryć można zmianę lepkości roztopionego tworzywa powodującą zmianę ciśnienia niezbędnego do napełnienia formy.

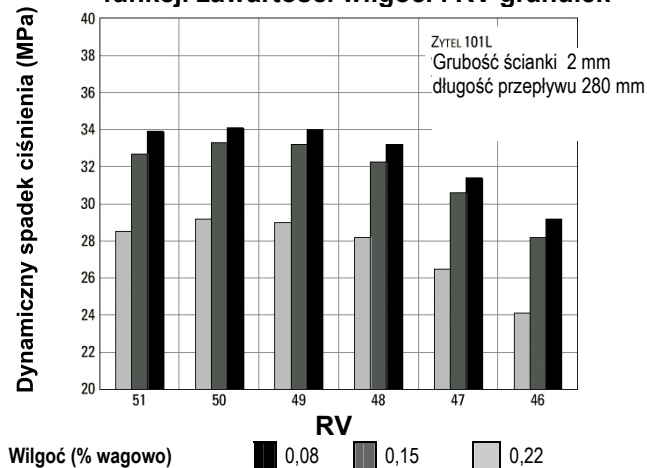
W tym celu należy zastosować dwa czujniki ciśnienia, gdyż obliczenia wykorzystują dynamiczny jego spadek - to znaczy ciśnienie w pierwszym czujniku, odpowiadające momentowi dotarcia strumienia do drugiego czujnika (patrz rys. 10).

Przykładowo pomiar dynamicznego spadku ciśnienia (DPD) pozwala pośrednio stwierdzić zmianę lepkości względnej tworzywa lub zawartość wilgoci.

Lepkość względna jest wiarygodnym miernikiem średniej masy cząsteczkowej, rutynowo wykorzystywanym w pomiarach laboratoryjnych. Pozwala ona także określić udarność tworzywa oraz jest skorelowana z lepkością roztopionego tworzywa.

Podczas procesu technologicznego zachodzą zjawiska hydrolizy i polikondensacji powodujące zmianę masy cząsteczkowej oraz lepkości tworzywa, a tym samym zmianę DPD. Kontrolowanie wzajemnych oddziaływań jest trudnym zadaniem, gdyż wilgotność, temperatura stopionego tworzywa oraz czas docisku równocześnie wpływają na przebieg wyżej wymienionych zjawisk. Na rysunku 43 pokazano zależność pomiędzy DPD, RV oraz wilgotnością dla poliamidu 66.

Rys. 43 Spadek ciśnienia dynamicznego DPD w funkcji zawartości wilgoci i RV granulek



6.5 Ciśnienie docisku i czas docisku (HPT)

6.5.1 Ciśnienie docisku (HP)

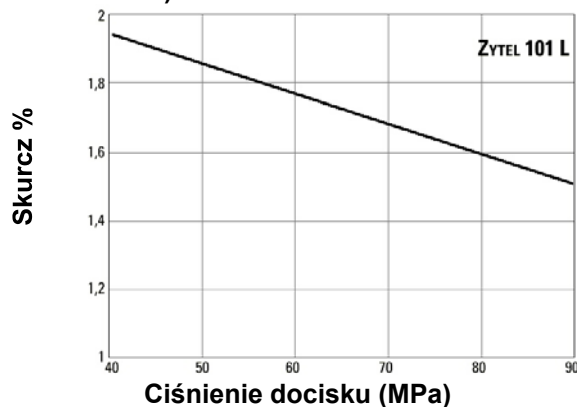
Podobnie jak w przypadku innych materiałów termoplastycznych skurcz wypraski poliamidowej zależy przede wszystkim od ciśnienia docisku oraz od czasu oddziaływania tego ciśnienia na tworzywo w formie. Ciśnienie docisku przykładane jest do tworzywa podczas jego krystalizacji w celu skompensowania zmian objętości i zmniejszenia skurczu wypraski (patrz rozdział 2.1 Struktura tworzywa).

Ze względu na krystaliczny charakter poliamidów stosuje się najwyższe możliwe ciśnienie docisku, zazwyczaj w granicach 90 MPa - ma ono ograniczyć skurcz wypraski. Zmiana ciśnienia o 10 MPa powoduje zmianę skurczu o 0,1%.

Wartość ciśnienia docisku w całym okresie oddziaływania (HPT) nie może się zmieniać. Wahań ciśnienia powodują nierównomierną krystalizację, prowadzącą do pogorszenia własności mechanicznych.

Na rysunku 44 pokazano wpływ ciśnienia docisku na skurcz tworzywa ZYTEL® 101L.

Rys. 44 Skurcz jako funkcja ciśnienia docisku dla detali o grubości 3mm (temperatura formy 70°C).

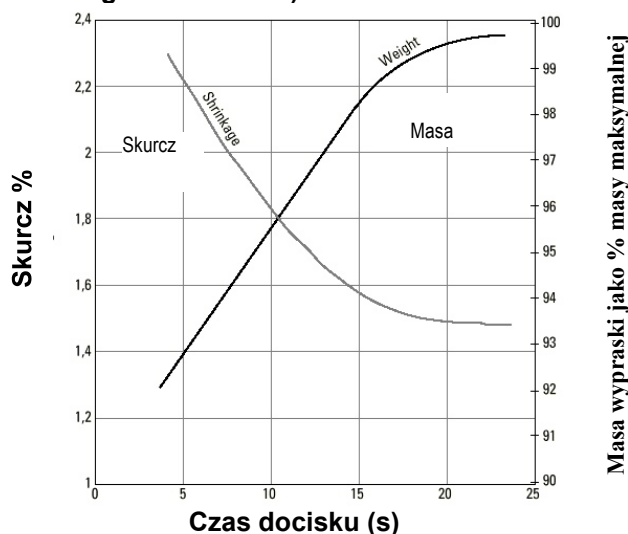


6.5.2 Czas docisku (HPT)

Skurcz wypraski poliamidowej zależy od ciśnienia docisku (HP) oraz od czasu oddziaływania tego ciśnienia. Parametr ten określany jest jako czas docisku (HPT). W celu uzyskania detali dobrze wyglądających, posiadających dobre własności mechaniczne, stabilne wymiarowo i pozbawione odkształceń należy bezwarunkowo wytworzyć odpowiednie ciśnienie docisku HP oraz utrzymać je przez odpowiednio długi czas HPT, dzięki czemu możliwa będzie szybka krystalizacja przy stałym ciśnieniu. Trzeba podkreślić, że parametr HPT jest skuteczny tylko w przypadku detali o odpowiednio dobranym przekroju przewężki - tworzywo powinno w niej zakrzepnąć dopiero w momencie pełnej krystalizacji tworzywa w gnieździe, a nie wcześniej. HPT zależy od grubości detalu oraz, w mniejszym stopniu, od temperatury formy.

Doskonałym sposobem wyznaczenia właściwej wartości HPT w standardowych warunkach formowania wtryskowego dowolnego detalu jest zważenie detali testowych wykonanych przy różnych HPT. Typowy wykres wyników takich pomiarów pokazany jest na rysunku 45.

Rys. 45 Skurcz i masa wypraski jako funkcja HTP dla tworzywa ZYTEL® 101L (detal o grubości 3 mm).



Podczas prowadzenia prób całkowity czas cyklu powinien być niezmienny, dzięki czemu utrzymać można będzie stałą temperaturę stopionego tworzywa. Właściwej wartości HTP odpowiada punkt osiągnięcia przez wypraskę masy maksymalnej. Jak wynika z rysunku 45, prawidłowej wartości HTP odpowiada minimalny skurcz wypraski.

Typowe wartości HTP dla tworzyw przetwarzanych wtryskowo w standardowych warunkach są podane w części II.

W przypadku stosowania jednego czujnika czas krystalizacji określany jest na podstawie analizy ciśnienia w formie, w przestrzeni leżącej blisko przewężki. Odbywa się to w czasie trwania jednego cyklu, poprzez analizę zmian krzywej ciśnienia w fazie docisku.

System pozwala określić szybkość krystalizacji tworzywa w ustalonych warunkach przetwarzania - przebieg krystalizacji może ulegać zmianom zależnym od temperatury stopionego tworzywa i temperatury formy. Obecność w ciekłym tworzywie ognisk krystalizacji, takich jak pigmenty lub przemiał, wpływa w dający się zmierzyć sposób na stopień krystalizacji.

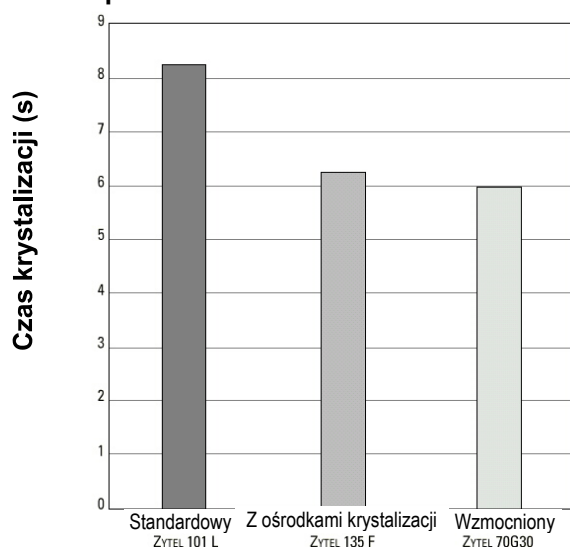
Czas krystalizacji kilku poliamidów, zmierzony opisaną metodą, jest pokazany na rysunku 46.

6.6 Prędkość obrotowa ślimaka i ciśnienie spiętrzenia

Energia dostarczona przez ślimak powinna stanowić około 80% energii niezbędnej do równomiernego podniesienia temperatury (grzałki dostarczają mniejszą część energii). Wynika stąd, że pod uwagę wziąć należy także konstrukcję i charakterystykę pracy ślimaka.

Maksymalna sugerowana prędkość obwodowa ślimaka wynosi 0,4 m/s dla poliamidów niewzmocnionych.

Rys. 46 Czas krystalizacji kilku gatunków poliamidu

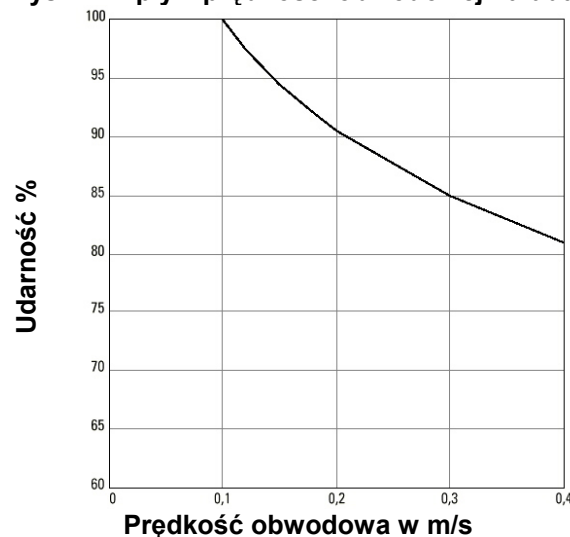


Detal o grubości 2 mm, formowany w typowej temperaturze, pod ciśnieniem docisku 85MPa. Temperatura stopionego tworzywa 290°C.

W przypadku poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym prędkość obrotowa ślimaka powinna być mała. Zaleca się, by prędkość obwodowa ślimaka nie przekraczała 0,15 m/s - pozwoli to ograniczyć do minimum zjawisko pęknięcia włókien szklanych oraz zapobiec nadmiernemu zużyciu kanału ślimaka.

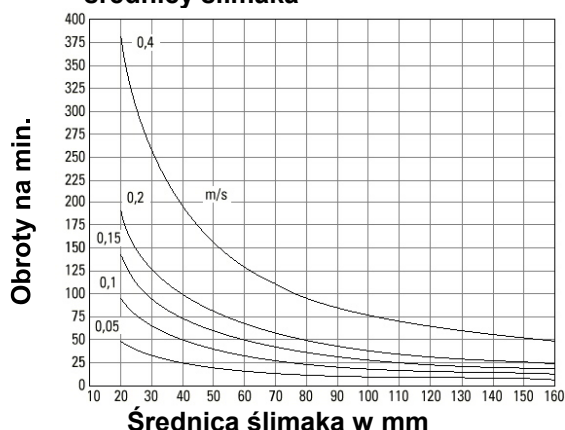
Wpływ nadmiernej prędkości obwodowej na tworzywa wzmocnione włóknem szklanym pokazano na rysunku 47.

Rys. 47 Wpływ prędkości obwodowej na udarność



Rysunek 48 wykorzystać można do wyznaczenia maksymalnej prędkości obwodowej (obr/min) jako funkcji średnicy ślimaka i prędkości obwodowej.

Rys. 48 Prędkość obrotowa ślimaka w funkcji średnicy ślimaka



Zwiększenie prędkości obrotowej ślimaka ogólnego stosowania często kończy się spadkiem temperatury stopionego materiału. Ślimaki o głębokiej i krótkiej części dozującej mogą, przy wysokich prędkościach obrotowych, przetłaczać nieroztopione cząsteczki tworzywa.

Stosować należy niewielkie ciśnienie spiętrzania. Wynikiem jego oddziaływania jest wymuszenie dodatkowej pracy ślimaka, której efektem może być pękanie włókien szklanych i pogorszenie własności mechanicznych gotowego detalu. Wzrost ciśnienia spiętrzania zwiększa wymieszanie stopionego polimeru, przez ślimak, a to mogłoby stopniowo podnosić temperaturę i jednorodność stopionego tworzywa. W sytuacji, gdy stopione tworzywo ma niewysoką jakość, wyższe ciśnienie spiętrzania może zmniejszyć zawartość cząsteczek nieroztopionych jednakże nie wpłynie zasadniczo na jakość ciekłego tworzywa.

Zaleca się by przy przetwarzaniu wtryskowym tworzyw poliamidowych DuPont stosować najniższe możliwe ciśnienie spiętrzania, zapewniające dobrą jakość stopionego tworzywa.

6.7 Dekompresja

Zazwyczaj konieczne jest jedynie obniżenie ciśnienia stopionego tworzyw w celu uniknięcia jego wycieku przez dyszę. Dzięki dekompresji uniknąć można wyciekaniu tworzywa z dysz w formach z gorącymi kanałami doprowadzającymi oraz możliwe jest wstrzymanie odgazowania.

Zbyt duże obniżenie ciśnienia może doprowadzić do zassania powietrza przez dyszę, a to z kolei może być przyczyną utlenienia materiału, które następnie objawi się jako odbarwienie wypraski. Innym efektem może być wtrysnięcie zakrzepłego tworzywa w następnym cyklu pracy, prowadzące do powstania defektów powierzchniowych, osłabienia i odchyłek masy wypraski.

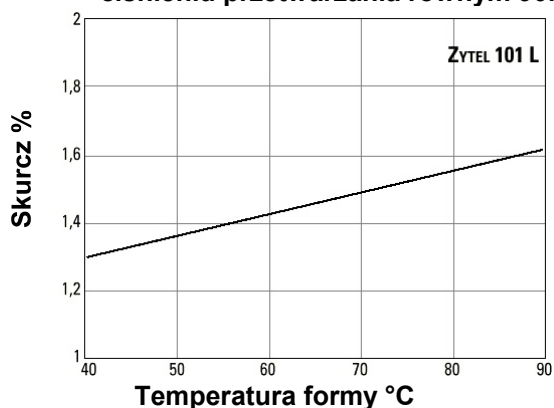
6.8 Temperatura formy

Wiadomo, że poliamid jako materiał semikrystaliczny charakteryzuje się wysokim, w porównaniu z materiałami amorficznymi, skurczem wypraski. Ogólnie rzecz ujmując, na stopień krystalizacji, a przez to na wielkość skurczu wpływa szybkość chłodzenia.

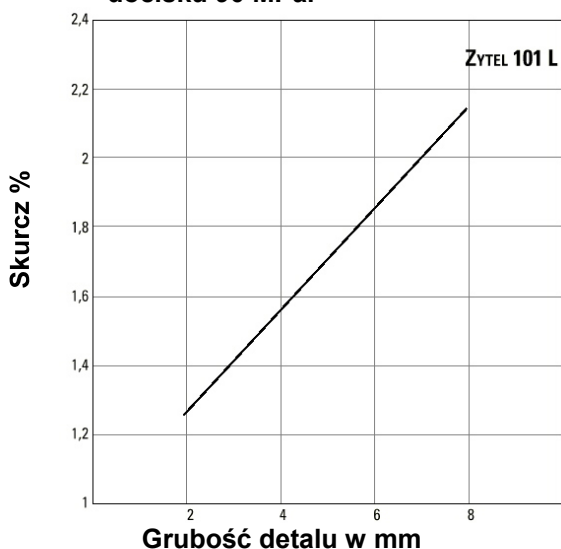
Czynniki decydujące o szybkości chłodzenia to przede wszystkim grubość ścianek wypraski i temperatura formy.

W niskich temperaturach chłodzenie przebiega szybko i w efekcie stopień krystalizacji zakrzepłego tworzywa jest mniejszy niż w formach o wysokiej temperaturze. Z tej właśnie przyczyny skurcz pierwotny wypraski zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury formy, jak to pokazano na rysunku 49.

Rys. 49 Skurcz jako funkcja temperatury formy na przykładzie detalu o grubości 3 mm i ciśnieniu przetwarzania równym 90MPa



Rys. 50 Skurcz jako funkcja grubości detalu - temperatura formy 70°C, ciśnienie docisku 90 MPa.



Grube detale stygną znacznie wolniej niż cienkie, co jest spowodowane niską przewodnością cieplną tworzyw termoplastycznych, a ostatecznym efektem tego jest mniejszy stopień krystalizacji części cienkich. W związku z tym skurcz wypraski jest tym większy im większa jest jej grubość - patrz rysunek 50.

W optymalnej temperaturze formy, wskazanej odrębnie dla każdego gatunku tworzywa w Części II Poradnika, uzyskuje się optymalny stopień krystalizacji tworzywa.

Detale kształtowane w wysokiej temperaturze charakteryzują się niewielkim skurczem całkowitym oraz dobrą stabilnością wymiarową zaś elementy uzyskane w temperaturach niskich wykazują większy skurcz, czasami powodujący powstanie dużych naprężeń wewnętrznych, często prowadzących do przedwczesnego pęknięcia wyrobów.

Czasami przetwarzanie w niskich temperaturach ma na celu podwyższenie wytrzymałości detali, jednakże korzyści uzyskane w ten sposób są niewielkie gdyż absorpcja wilgoci sama w sobie zwiększa wytrzymałość elementów formowanych wtryskowo. Jeżeli więc formowanie wtryskowe w niskiej temperaturze spowoduje powstanie naprężeń wewnętrznych, to żadne zyski w zakresie wytrzymałości nie zostaną osiągnięte. Dodatkowo kształtowanie w zimnych formach prowadzi do znacznej krystalizacji, a tym samym skurczu, po zakończeniu procesu technologicznego. Wpływa stąd wniosek, że tego rodzaju formowania należy unikać.

Tworzywa poliamidowe wzmocnione włóknem szklanym mogą być wtryskiwane do form o szerokim zakresie temperatur, jednakże najlepszy wygląd powierzchni uzyskuje się w temperaturach wysokich (zazwyczaj 100°C do 120°C). Wysokie temperatury form wymagają zastosowania termostatów olejowych lub wodnych ciśnieniowych, ale za to uzyskuje się znacznie lepszą jakość wykończenia powierzchni, poprawia się napelnienie formy oraz maleje ilość wad powierzchniowych (krystaliczność powierzchni).

6.9 Czas chłodzenia

Ze względu na krystaliczną charakterystykę tworzyw poliamidowych nie zachodzi potrzeba chłodzenia części po zakończeniu procesu krystalizacji (po upływie HPT) - sztywność wypraski jest na tyle duża, że można ją uwolnić z formy.

6.10 Uwalnianie wyprasek z formy

Znajdujący się w tworzywach poliamidowych ZYTEL® i MINLON® środek smarny zazwyczaj wystarcza do zapewnienia łatwości uwalniania wyprasek z formy nawet w przypadku elementów o skomplikowanym kształcie, takich jak koła zębate o zębach skośnych.

7. Obsługa wtryskarki

7.1 Uruchomienie

Zespół uplastyczniający wtryskarki zawierający tworzywo wrażliwe na temperaturę, takie jak poliacetal, polichlorek winylu lub tworzywo o temperaturze przetwarzania wyższej niż analogiczna temperatura poliamidu powinien zostać przeczyszczony polietylenem o dużej gęstości (HDPE) lub polistyrenem (PS).

Duże maszyny, wykorzystywane wcześniej do przetwórstwa ABS lub poliwęglanów, wymagać mogą zastosowania specjalnej metody czyszczenia, takich jak:

- Czyszczenie za pomocą HDPE (najlepiej odmianą wtryskową)
- Czyszczenie za pomocą tworzywa ZYTEL®
- Czyszczenie za pomocą akrylu
- Czyszczenie za pomocą HDPE

Podczas ostatecznego czyszczenia za pomocą HDPE temperatura cylindra powinna być ustawiona tak, jak dla konkretnego typu poliamidu.

Oto typowa procedura rozruchowa:

- a) Sprawdzić, czy zasuwę otworu podającego w leju jest zamknięta.
- b) Temperaturę cylindra ustawić na 10°C poniżej minimalnej temperatury przetwarzania, zaś dyszę wyregulować na temperaturę roboczą. Pozwolić, by ciepło wnikało przez co najmniej 20 minut. Temperaturę w cylindrze podnieść do poziomów roboczych.
- c) Sprawdzić, czy dysza ma prawidłową temperaturę.
- d) Spróbować obrócić ślimak małymi skokami. Jeżeli ślimak nie daje się poruszyć, to należy wydłużyć czas oddziaływania ciepła.
- e) W momencie, gdy ślimak zacznie się obracać, na chwilę otworzyć, a następnie zamknąć zasuwę otworu podającego w leju. Sprawdzić obciążenie napędu ślimaka i podnieść temperaturę tylnej strefy cylindra jeżeli jest ono zbyt wysokie. W tym czasie dysza musi być otwarta.
- f) Otworzyć zasuwę otworu podającego, zaś ślimak ustawić w położeniu przednim. Wytłoczyć stopione tworzywo przez obrót ślimakiem i podnieść temperaturę w strefie przedniej jeżeli widoczne są z w nim nieroztopione cząsteczki.
- g) Skok ślimaka wyregulować tak, by w przybliżeniu odpowiadał on porcji wtryskiwanego tworzywa. Wykonać kilka wtrysków w przybliżonym czasie trwania całego cyklu. Proces czyszczenia powtarzać przez 10 minut, a następnie sprawdzić temperaturę stopionego tworzywa za pomocą pirometru igłowego. Wszystkie temperatury w cylindrze wyregulować tak, by uzyskać zalecaną temperaturę stopionego tworzywa. (Procedurę tę należy powtarzać zawsze gdy wprowadzone zostaną znaczne zmiany procesu przetwórstwa).
- h) Zespół wtryskowy przesunąć do przodu. Pracę rozpocząć przy niskiej prędkości i niskim ciśnieniu wtrysku (z wyjątkiem sytuacji gdy krótki wtrysk utrudniałby uwalnianie wypraski) i tak wyregulować

parametry przetwórstwa, by uzyskać najlepszy wygląd części (maksymalna masa wtrysku). Zazwyczaj konieczne jest zastosowanie szybkiego napełniania.

7.2 Przerwanie cyklu

W przypadku krótkotrwałego przerwania pracy należy zastosować się do poniższych wskazówek w celu uniknięcia degradacji polimeru.

1. Cofnąć zespół wtryskowy.
2. Obniżyć temperatury panujące w cylindrze tak, by stopione tworzywo miało temperaturę o 30°C niższą niż zalecana.
3. Podczas przerwy w pracy należy regularnie wytłaczać z cylindra tworzywo w celu usunięcia zdegradowanego tworzywa.

Jeżeli przewidywane jest wydłużenie się przerwy, to wskazane jest przeczyszczenie wtryskarki za pomocą HDPE lub polistyrenu.

7.3 Wyłączenie

Przed wyłączeniem wtryskarki należy przeczyszczyć ślimak-cylinder stosując polistyren lub polietylen, dzięki czemu skrócony będzie czas potrzebny do jej uruchomienia w przyszłości, a ponadto pozwoli to uniknąć problemów z zanieczyszczeniami. Poniżej podana jest zalecana procedura wyłączenia.

- a) Zasuwę otworu podającego w leju zamknąć podczas wykonywania cyklu roboczego. Nie wyłączać grzejników cylindra i dyszy.
- b) Opróżnić lej zasypowy, a następnie napełnić go polistyrenem lub polietylenem – tworzywo to następnie przetłaczać aż do momentu gdy ślimak zostanie wyczyszczony (wytłoczy cały materiał).
- c) Ślimak pozostawić w położeniu przednim.
- d) Wyłączyć zasilanie grzałek cylindra.

7.4 Czyszczenie

Powszechnie stosowane i skutecznie usuwające poliamid tworzywa czyszczące to: polistyren, akryl (dysza musi być zdemonstrowana podczas czyszczenia) oraz polietylen o dużej gęstości (lub PE wzmocniony włóknem szklanym, po którym przepuszcza się HDPE). Poliamidy wzmocnione włóknem szklanym można skutecznie usunąć w podwyższonej temperaturze, stosując niższą procedurę:

- a) Wycofać zespół wtryskowy, zaś ślimak pozostawić w położeniu przednim.
- b) Ślimak uruchomić z dużą prędkością obrotową i wytłoczyć tyle tworzywa, ile tylko będzie możliwe. Dodać składnik oczyszczający i przetłaczać go aż do momentu, w którym opuści on wtryskarkę bez zanieczyszczeń. Konieczne może być dostosowanie temperatur cylindra do rodzaju zastosowanego tworzywa czyszczącego.
- c) Dobrą praktyką jest wykonanie kilku szybkich „wtrysków” powietrza w celu oczyszczenia ścian cylindra przed wprowadzeniem innego tworzywa. Podczas wykonywania tej operacji należy uważać, by nie doszło do rozprysnięcia resztek stopionego tworzywa.

8. Rozważania dotyczące wymiarów detali podczas formowania i po jego zakończeniu

Zmiany wymiarów detali wytwarzanych wtryskowo mają miejsce podczas formowania, a mogą wystąpić także po jego zakończeniu oraz podczas eksploatacji tychże detali. Czasami zmiany te są wywoływane przez czynniki zewnętrzne powodujące przyspieszenie zmian wymiarów. Niezależnie od okoliczności stabilność wymiarowa detali zależy od poniższych czynników:

- Skurczu
- Absorpcji wody
- Skurczu po wyjęciu z formy
- Wyrzewanania

W celu uzyskania lepszej kontroli nad absorpcją wody i skurczem, wypraskę po wyjęciu z formy często zaleca się poddać starzeniu wilgotnościowemu (nasytaniu wilgocią) i odprężaniu poprzez wygrzewanie.

8.1 Skurcz wypraski

Po wyjęciu wypraski z formy i ochłodzeniu do temperatury pokojowej jej wymiary są zazwyczaj mniejsze niż wymiary gniazda w formie. Różnica pomiędzy nimi, wyrażona w procentach jest określana jako skurcz wypraski.

Wielkość skurczu zmienia się znacznie w zależności od kształtu formowanych detali. Oznacza to, że aby mieć możliwość porównania tworzyw należy odpowiednio zdefiniować skurcz. Przyjmuje się, że jest to skurcz prostopadłościanu o wymiarach 127 x 12,7 x 3,2 mm, z czołowo umieszczonym otworem wtryskowym, suchego po uformowaniu w temperaturze 23°C. Skurcze wyprasek dla poszczególnych gatunków podane są w Części II Poradnika.

Skurcz wypraski zależy od gatunku przetwarzanego poliamidu, warunków formowania i konstrukcji formy. Czynniki decydujące w każdej z wymienionych kategorii to:

1. Typ tworzywa

- Procentowa zawartość włókna szklanego.
- Obecność zarodków krystalizacji.
- Pigmenty.

2. Warunki przetwórstwa:

- Temperatura formy (Rys. 49).
- Temperatura stopionego tworzywa.
- Ciśnienie wtrysku i ciśnienie docisku (Rys. 44).
- Czas docisku (Rys. 45).

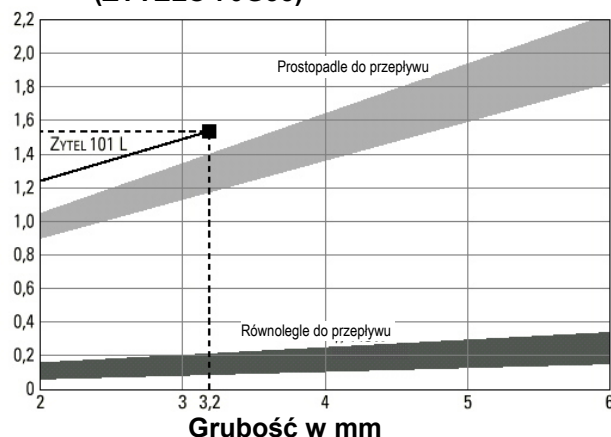
3. Konstrukcja formy:

- Grubość detali (Rys. 50, 51 i 52).
- Konstrukcja przewężki i jej usytuowanie.

W przypadku poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym skurcz w kierunku zgodnym z orientacją włókien

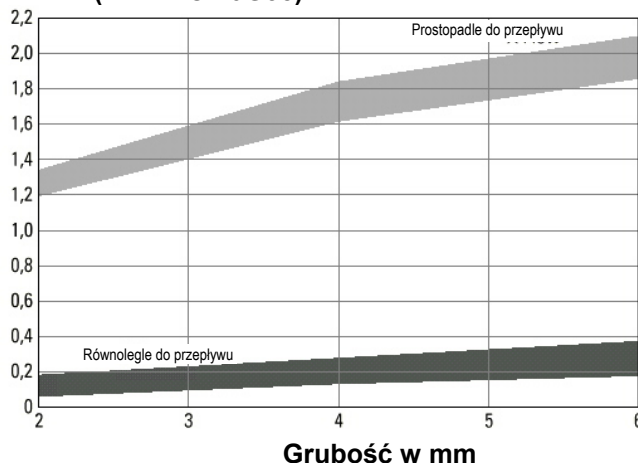
jest mniejszy niż w kierunku poprzecznym - patrz rys. 51 i 52.

Rys. 51 „Skurcz ograniczony”* w funkcji grubości (ZYTEL® 70G35)



* Ciśnienie docisku 75 MPa, optymalny czas docisku, temperatura formy 90°C, temperatura stopionego tworzywa 275°C.

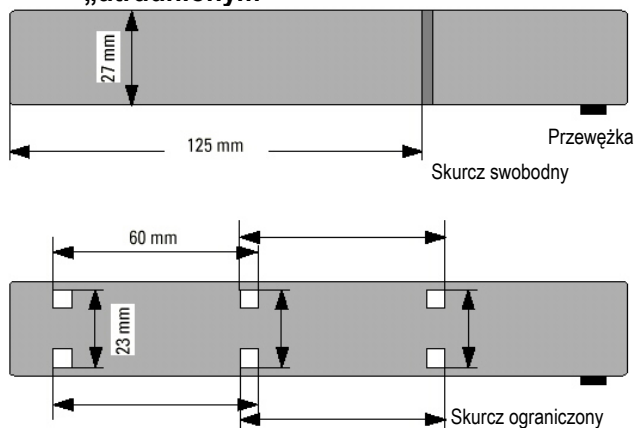
Rys. 52 Skurcz swobodny* w funkcji grubości (ZYTEL® 70G35)



* Ciśnienie docisku 75 MPa, optymalny czas docisku, temperatura formy 90°C, temperatura stopionego tworzywa 275°C.

Z tego powodu bardziej praktyczne jest zastosowanie wypraski płytowej w celu odróżnienia skurczu w kierunku przepływu od skurczu w kierunku do niego prostopadłym. Ze względu na to, że w detalach występuje kombinacja zarówno skurczu swobodnego jak i „ograniczonego”, na rysunku 53 porównane zostały oba te rodzaje skurczów.

Rys. 53 Porównanie skurczu swobodnego z „utrudnionym”

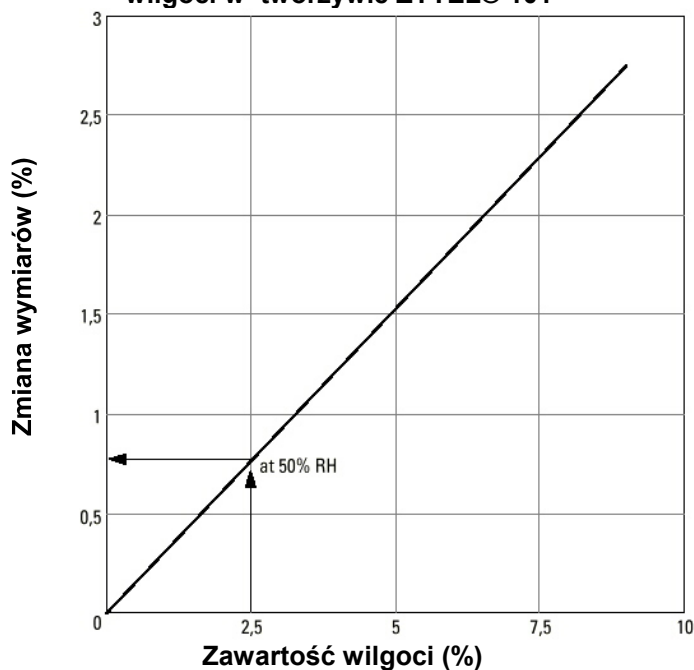


Wartości skurczu podane na rys. 51 i 52 są przybliżonymi wskazówkami służącymi do oszacowania skurczu wypraski w wybranym kierunku. Ze względu na izotropię skurczu i wpływ powyższych czynników wskazane jest wykonanie wyprasek prototypowych w celu uzyskania precyzyjnych danych wymiarowych dla części skomplikowanych i precyzyjnych.

8.2 Wpływ absorpcji wody na wymiary

Świeżo wyprodukowane detale z tworzywa poliamidowego zazwyczaj charakteryzują się małą zawartością wody. Począwszy od momentu wyjęcia ich z formy, elementy te zaczynają powoli chłonać wodę z otoczenia, a proces ten trwa aż do osiągnięcia stanu równowagi. Jego parametry zależą zarówno od wilgotności względnej jak i od typu poliamidu. Wynikiem absorbowania wody jest zwiększenie wymiarów detalu, co uwidoczniło na rysunku 54.

Rys. 54 Zmiana wymiarów jako funkcja zawartości wilgoci w tworzywie ZYTEL® 101



Punkt równowagi wodnej poliamidu DuPont zależy od gatunku tworzywa, co uwidoczniło w tabeli 3. W przypadku gatunków wzmocnionych poziom równowagi jest nieco niższy ze względu na niewrażliwość materiału wzmocniającego na wodę.

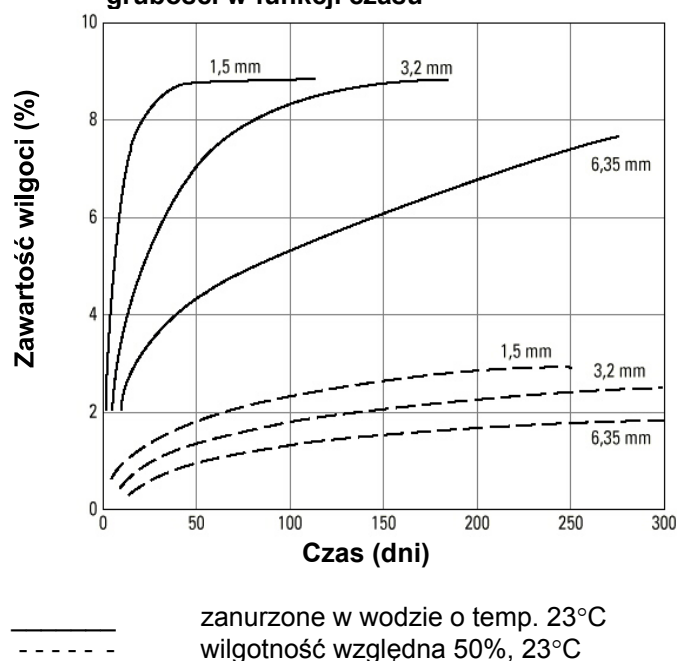
Tabela 3 Absorpcja wody poliamidów w powietrzu i w wodzie

	Poliamidy w wodzie o temperaturze 20°C	Absorpcja w powietrzu o wilgotności względnej 50% i temp. 23°C
6	8,5%	2,8%
66	7,5%	2,5%
6/66	7,5%	2,5%
6/12	3,0%	1,3%
6/10	3,0%	1,2%
amorficzny	5,8%	2,8%

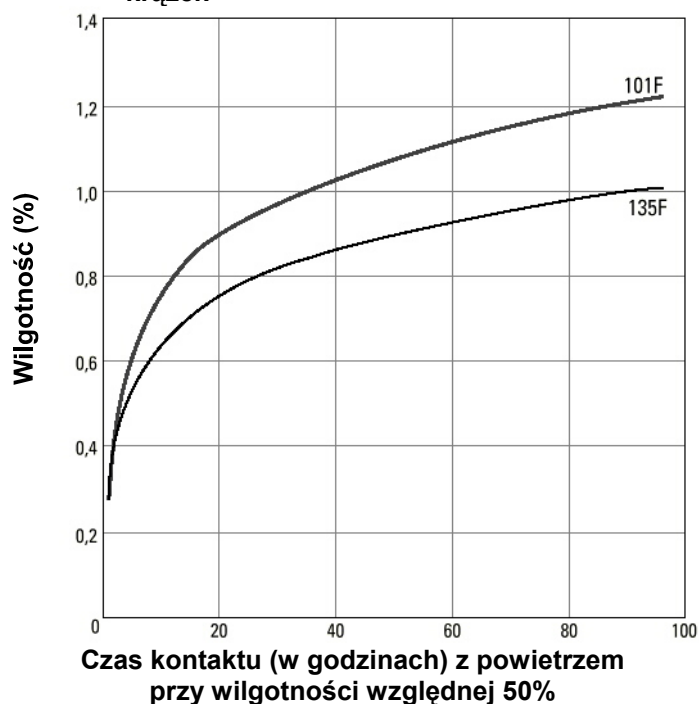
Czas, po którym osiągany jest stan równowagi zależy od grubości ścianki, wilgotności zewnętrznej i temperatury.

Na rysunku 55 pokazano przebieg absorpcji wody przez niewzmocniony ZYTEL®, oparty na poliamidzie 66, w funkcji czasu, w różnych warunkach środowiskowych, dla detali o różnej grubości. Rysunek 56 pokazuje czas absorbowania wilgoci przez 1 milimetrowy krążek z niewzmocnionego tworzywa ZYTEL® 101 i 135F. Zmiany wymiarowe spowodowane absorpcją wilgoci można przyspieszyć stosując starzenie wilgotnościowe.

Rys. 55 Zawartość wilgoci w detalach o różnej grubości w funkcji czasu



Rys. 56 Absorpcja wilgoci przez 1-milimetrový krążek



W przypadku detali starzonych wilgotnościowo, które mają być wykorzystywane w normalnych warunkach atmosferycznych (wilgotność względna 50%, temperatura 23°C), wskazane jest doprowadzenie ich wilgotności do poziomu 3% (wagowo). Nadmiar wilgoci z powierzchni szybko wyparuje, zaś pozostałość wody zostanie równomiernie rozprowadzona i ostatecznie osiągnięty zostanie poziom 2,5%.

Procedury starzenia wilgotnościowego są szczegółowo omówione w „Design handbook for nylon resins” (Podręcznik projektowania z tworzyw poliamidowych)

8.3 Skurcz wtórny

Podobnie jak inne polimery semikrystaliczne, także detale wykonane z tworzyw poliamidowych DuPont kurczą się po wyjęciu z formy. Zasadniczo przyczyną tego jest wzrost stopnia krystalizacji mający miejsce po upływie długiego czasu. Zjawisko to jest silniejsze w elementach cienkich niż w grubych. Z drugiej strony, przebiegająca równocześnie absorpcja wody powoduje powiększanie się wyprasek. Oznacza to, że ostateczne wymiary elementu są wypadkową tych dwóch czynników.

W dobrze uformowanej wyprasce o umiarkowanej grubości absorpcja wody dominuje nad skurczem spowodowanym wzrostem stopnia krystalizacji. Jeżeli jednak wypraskę wyprodukowano w zbyt zimnej formie lub gdy detal posiada cienkie przekroje, skurcz wywołany krystalizacją po wyjęciu z formy będzie większy niż zmiany wymiarów spowodowane absorpcją wody.

8.4 Wypaczenia

Wypaczenia części wykonanych z tworzyw wzmocnionych włóknem szklanym spowodowane są nierównomiernym

(anizotropowym) skurczem materiału. Wpływ na to mogą mieć:

Orientacja włókien a kierunek pływnięcia: z powodu kierunkowego ułożenia włókien skurcz w kierunku zgodnym z ich orientacją jest inny (mniejszy) niż w kierunku prostopadłym (gdzie ma on wartość zbliżoną do typowej dla poliamidu niewzmocnionego), a to z kolei jest przyczyną anizotropowego kurczenia się detalu, mogącego spowodować jego wypaczenie podczas chłodzenia. Skurcze wypraski pokazane na rysunkach 51 i 52 są zawsze mniejsze w kierunku przepływu oraz niemal takie same jak dla poliamidu niewzmocnionego w kierunku poprzecznym względem przepływu. Oznacza to, że wszelkie czynniki powodujące przypadkowe ukierunkowanie włókien szklanych, takie jak gwałtowne zmiany kierunku przepływu, rozpryskiwanie strumienia płynnego tworzywa o rdzeń, zwielokrotnione przewężki itp. będą zmniejszać wypaczenia wypraski.

Konstrukcja wypraski: Wypraski powinny być tak projektowane, by w miarę możliwości wszystkie ich ścianki miały jednakową grubość. Detale grube należy zawsze wykonywać z pustymi przestrzeniami (forma z rdzeniem) w celu ograniczenia wielkości wypaczeń. Detale skomplikowane muszą mieć możliwość swobodnego kurczenia się. Żebra, występy oraz rdzenie muszą być zawsze tak zaprojektowane, by minimalizowały lokalne deformacje wypraski.

Konstrukcja formy: Zaleca się stosować centralny otwór wtryskowy w przypadku detali okrągłych oraz przewężkę na całą szerokość krawędzi w przypadku cienkich detali o przekroju prostokątnym (cieńszych niż 1,5 mm). Jeżeli droga przepływu stopionego tworzywa w wyprasce jest długa, to przewężka powinna być tak umieszczona, by strumień cieczy uderzał o ścianę. Przewężki powinny być większe (o około 50%, ale nie więcej) niż w przypadku poliamidów niewzmocnionych. W wielu sytuacjach zmniejszenie zawartości włókna szklanego (o ile tylko jest możliwe z punktu widzenia zastosowania / konstrukcji) ograniczy skłonność wypraski do odkształcania się. W wyjątkowo trudnych przypadkach wypaczeń prosimy o kontakt z lokalnym reprezentantem firmy DuPont.

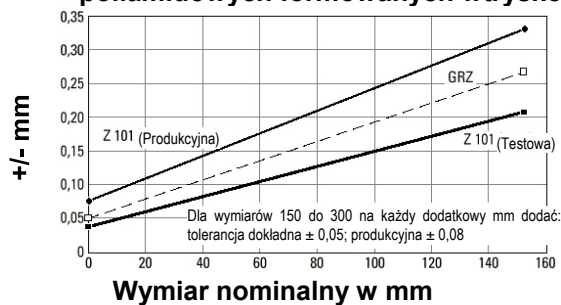
Niejednakowy skurcz może być spowodowany zróżnicowaniem stopnia krystalizacji wynikającym z nierównomiernego nagrzania formy, lokalnego przegrzewania rdzeni lub braku układu chłodzenia w obszarze gniazd (przeźreni wyprasek).

8.5 Tolerancja wyprasek

Możliwa do osiągnięcia tolerancja wymiarów zależy od tworzywa, konstrukcji detalu oraz parametrów przetwórstwa.

Z praktyki wynika, że o ile przyjęta zostanie poprawna konstrukcja detalu, prawidłowo zlokalizowany zostanie punkt wtryskowy oraz zachowane zostaną optymalne, niezmiennie parametry przetwórstwa, to możliwe jest uzyskanie poniższych tolerancji wymiarów elementów wykonanych z poliamidu niewzmocnionego.

Rys. 57 Tolerancja wymiarowa detali z tworzyw poliamidowych formowanych wtryskowo



Tolerancje powyższe nie uwzględniają charakterystyki starzenia materiału. Tolerancje podano dla detali o grubości ścianki 3,0 mm.

Tolerancja detali wykonanych z poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym zależy od stopnia komplikacji konstrukcji oraz od grubości ścianek detali. Pomimo, że skurcz wypraski z poliamidu wzmocnionego włóknem szklanym jest znacznie mniejszy niż w przypadku poliamidów bez wzmocnienia, to uzyskanie powtarzalności wymiarów może być trudniejsze (patrz punkt 8.1). Zależć ona będzie w znacznym stopniu od zorientowania przestrzennego włókien szklanych w wyprasce oraz od warunków przetwórstwa. Tolerancje uzyskiwane na wtryskarkach stanowią zazwyczaj kompromis pomiędzy tolerancjami produkcyjnymi a testowymi (tolerancje uzyskiwane na próbkach badawczych) wskazanymi przez Society of the Plastics Industry (Stowarzyszenie Przemysłu Tworzyw Sztucznych) dla poliamidu niewzmocnionego.



Tworzywa poliamidowe

Warunki przetwórstwa tworzyw MINLON[®] i ZYTEL[®]

**Zacznij
z DuPont**

Warunki przetwórstwa tworzywa ZYTEL®

Gatunek	Material	Uwagi	Gęstość w stanie stałym g/cm ³	Gęstość w stanie stopionym g/cm ³	Zalecana temperatura przetwórstwa °C	Zalecana temperatura gniazda formy °C	Maksymalna prędkość obwodowa ślimaka m/s	Prędkość czola przepływu mm/s	Ciśnienie docisku			Ciśnienie spiętrzania NSW	Czas docisku < 3 mm s/mm	Maks. czas przebywania tworzywa w cylindrze min	Skurcz zmierzony na próbkach testowych		Maksymalna wilgotność %	Suszenie		Campus Grudzień '94 T/N
									Min.	Zalec.	Max				Wzdłużny %	Poprzeczny %		temp °C	czas godz.	
E101 L	PA66	L	1,14	0,95	295	70	0,4	300	50	85	100	N	4,0	15	1,2	1,2	0,2	80	2-4	T
101 F	PA66	L	1,14	0,95	295	70	0,4	300	50	85	100	N	4,0	15	1,4	1,4	0,2	80	2-4	T
EFE1150	PA66	L	1,14		290	70	0,4		50	85	100	N	4,0	15	1,4	1,4	0,2	80	2-4	N
E103 HSL	PA66	HL	1,14	0,95	290	70	0,4	300	50	85	100	N	4,0	15	1,2	1,3	0,2	80	2-4	T
105 F BK-10	PA66	L	1,15		290	70	0,4	300	50	85	100	N	4,0	15	1,5		0,2	80	2-4	T
122 L	PA66	L	1,14		290	70	0,4	300	50	85	100	N	4,0	15	1,4		0,2	80	2-4	T
135 F	PA66	L	1,15	1,02	290	70	0,4	300	50	85	100	N	3,5	15	0,7	1,5	0,2	80	2-4	T
7300	PA6	L	1,13		270	70	0,4	150	50	85	100	N	3,0	15	0,8		0,2	80	2-4	T
EFE1152	PA66	L	1,14		290	70	0,4	300	50	85	100	N	4,0	15	0,8	1,5	0,2	80	2-4	N
EFE1151	PA66	L	1,14		290	70	0,4	300	50	85	100	N	3,5	15	1,1	1,4	0,2	80	2-4	T
7335 F	PA6	L	1,13		270	70	0,4	150	50	85	100	N	3,0	15	0,6		0,2	80	2-4	T
151 L	PA6/12	L	1,06		250	70	0,3	300	50	85	100	N		15	1,3		0,2	80	2-4	T
153 HSL	PA6/12	HL	1,06		250	70	0,3	300	50	85	100	N		15	1,3		0,2	80	2-4	T
114 L BK-97	PA66	T	1,12	0,94	290	70	0,3		50	85	100	N	4,5	15	1,5		0,2	80	2-4	T
408	PA66	T	1,09	0,95	290	70	0,3	150	50	85	100	N	4,5	10	1,5	1,6	0,2	80	2-4	T
450	PA66	T	1,08	0,92	285	70	0,3	300	50	85	100	N	4,5	10	1,7		0,2	80	2-4	T
490	PA66	T	1,09	0,92	285	70	0,3	300	50	85	100	N	4,5	10	1,5	1,5	0,2	80	2-4	T
7300 T	PA6	T	1,10		275	70	0,3	150	50	85	100	N	3,0	15	1,0	1,0	0,2	80	2-4	N
ST801	PA66	ST	1,08	0,92	285	70	0,3	150	50	85	100	N	3,0	10	1,5	1,5	0,2	80	2-4	T
ST7301	PA6	ST	1,07		250	70	0,3	150	50	85	100	N	3,0	15	2,1	2,2	0,2	80	2-4	N
70G20 HSL	PA66	G20HL	1,29	1,12	295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,5	1,2	0,2	80	2-4	T
70G25 HSL	PA6	G25HL	1,33		295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,35	1,07	0,2	80	2-4	T
70G30 HSL	PA66	G30HL	1,37	1,20	295	110	0,15		50	85	100	N	2,5	15	0,3	1,1	0,2	80	2-4	T
70G33 GRA	PA66	G33	1,45		295	110	0,15	150		85		N	2,5	15			0,2	80	2-4	N
70G30 PSR	PA66	G30			295	110	0,15	150		85		N	2,5	15			0,2	80	2-4	N
70G35 HSL	PA66	G35HL	1,47	1,27	295	110	0,15		50	85	100	N	2,5	15	0,4	1,10	0,2	80	2-4	T
70G35 HSL A4 BK-267	PA66	G35HL	1,41		295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	1	1	0,2	80	2-4	N

Warunki przetworstwa tworzywa ZYTEL® (ciąg dalszy)

Gatunek	Material	Uwagi	Gęstość w stanie stałym g/cm ³	Gęstość w stanie stopionym g/cm ³	Zalecana temperatura przetworstwa °C	Zalecana temperatura gniazda formy °C	Maksymalna prędkość obwodowa ślimaka m/s	Prędkość czola przepływu mm/s	Ciśnienie docisku			Ciśnienie spiętrzania NŚW	Czas docisku < 3 mm s/mm	Maks. czas przebywania tworzywa w cylindrze min	Skurcz zmierzony na próbkach testowych		Maksymalna wilgotność %	Suszenie		Campus Grudzień '94 T/N
									Min	Zalec	Max				Wzdłużny %	Poprzeczny %		temp. °C	czas godz.	
70G43 L	PA66	G43 L	1,49	1,28	295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,3	0,8	0,2	80	2-4	T
70G50 HSL	PA66	G50 H L	1,57		295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,3	0,7	0,2	80	2-4	T
70G60	PA66	G60	1,7		300	110	0,15	Fast	50	85	100	N	2,5	15	0,4	0,6	0,2	80	2-4	N
73G15	PA6	G15	1,23		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,3	1,1	0,2	80	2-4	T
73G20	PA6	G20	1,27		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,25	1,1	0,2	80	2-4	T
73G25	PA6	G25	1,31		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,20	1,0	0,2	80	2-4	T
73G30	PA6	G30	1,36		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,20	1,0	0,2	80	2-4	T
73G30 W	PA6	G30			270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,20	1,0	0,2	80	2-4	N
73G35	PA6	G35	1,42		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,18	1,0	0,2	80	2-4	T
73G40	PA6	G40	1,46		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,17		0,2	80	2-4	N
73G45	PA6	G45	1,51		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,15	0,9	0,2	80	2-4	T
73G50	PA6	G50	1,56		270	85	0,3	300	50	85	100	N	3,0	15	0,10	0,9	0,2	80	2-4	T
70G30 HSLR	PA66	G30 H L	1,37		295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,40	1,1	0,2	80	2-4	N
70G35 HSLX	PA66	G35 H L	1,41		295	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,40	1,0	0,2	80	2-4	N
70GB40 HSL	PA66	GB40 H L	1,46		295	110	0,15	Fast	50	85	100	N	2,5	15	1,2	1,2	0,2	80	2-4	T
72G15 L	PA66/6 ¹	G15 L	1,23		280	90	0,15	300	50	85	100	N	2,5	15		0,30	0,2	80	2-4	N
72G30 L	PA66/6 ¹	G30 L	1,37		280	90	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,20		0,2	80	2-4	N
74G20 HSL	PA66/6 ²	G20 L	1,3		290	90	0,30	300	50	85	100	N	2,5	10	0,30		0,2	80	2-4	N
74G30 L	PA66/6 ²	G30 L	1,4		290	90	0,30	300	50	85	100	N	2,5	10	0,18		0,2	80	2-4	N
74G30 W	PA66/6 ²	G30			290	90	0,30	300	50	85	100	N	2,5	10			0,2	80	2-4	N
77G33 L	PA6/12	GS33 L	1,32		250	80	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,2	0,9	0,2	80	2-4	T
77G43 L	PA6/12	G43 L	1,46		250	80	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,1	0,8	0,2	80	2-4	N
79G13	PA66	G13 T L	1,21		295	60	0,30	150	50	85	100	N	2,5	15	0,5	1,2	0,2	80	2-4	T
80G14	PA66	G14 T	1,25		295	70	0,15	150	50	85	100	N	2,5	10	0,6	1,2	0,2	80	2-4	T
80G25	PA66	G25 T	1,26		295	70	0,15	150	50	85	100	N	2,5	10	0,35		0,2	80	2-4	N
80G33 HS1L	PA66	G33 T H L	1,34		295	70	0,15	150	50	85	100	Ś	2,5	12	0,3	1,1	0,2	80	2-4	T
80G43 HS1L	PA66	G43 ST H			295	70	0,15	150	50	85	100	Ś	2,5	10			0,2	80	2-4	N
73G15 T	PA6	G15 T	1,19		270	85	0,30	300	50	85	100	N	3,0	15	0,3	0,9	0,2	80	2-4	N
73G30 T	PA6	G30 T	1,34		270	85	0,30	300	50	85	100	N	3,0	15	0,2	1,0	0,2	80	2-4	T
FR7200 VOF	PA66/6 ¹	FR	1,18		280	70		150	50	85	100	N	3,0	10			0,2	80	2-4	N
FR70G25 V0	PA66	G25	1,49		280	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	10	0,4	0,8	0,2	80	2-4	N

¹ Kopolimer ² Blenda

Warunki przetwórstwa tworzywa ZYTEL® (ciąg dalszy)

Gatunek	Material	Uwagi	Gęstość w stanie stałym g/cm ³	Gęstość w stanie stopionym g/cm ³	Zalecana temperatura przetwórstwa °C	Zalecana temperatura gniazda formy °C	Maksymalna prędkość obwodowa ślimaka m/s	Prędkość czola przepływu mm/s	Ciśnienie docisku			Ciśnienie spiętrzania NŚW	Czas docisku < 3 mm s/mm	Maks. czas przebywania tworzywa w cylindrze min	Skurcz zmierzony na próbkach testowych		Maks. wilgotność %	Suszenie		Campus Grudzień '94
									Min. MPa	Zalec. MPa	Max. MPa				Wzdłużny %	Poprzeczny %		temp °C	czas Godz.	
FR70M30 V0	PA66	M30 V0	1,62		270	90	0,15	150	50	85	100	N	2,5	10	0,9		0,2	80	2-4	T
FR72G25 V0	PA66	FR G25	1,18		270	90	0,15	150	50	85	100	N	2,5	10	0,6	1	0,2	80	2-4	T
FR72G25 V1	PA66	FR G25	1,44		270	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	10			0,2	80	2-4	T
E40	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	N	4,0	15	1,8	2,2	0,15	80	2-4	N
E41 HS	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	N	4,0	15			0,15	80	2-4	N
E42A	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	N	4,0	15			0,15	80	2-4	N
E50	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	N	4,0	15	1,9	2,2	0,15	80	2-4	T
E51 HS	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	N	4,0	15	1,9	2,2	0,15	80	2-4	N
E53	PA66	UHV Extr.	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	N	4,0	15	1,9	2,2	0,15	80	2-4	N
158	PA66	HV	1,06		250	70	0,30	150	50	85	100	N		15	1,1		0,2	80	2-4	T
330	PA66	Amorf.	1,18		300	85	0,20	300	50	85	100	N		10	0,5	0,5	0,1	80	6-10	N
FN 714	PA66	fl. alloy	1,02		285	60	0,30		50	85	100	N	4,0	10			0,15	80	4	N
FN 718	PA66	fl. alloy	1,03		285	60	0,30		50	85	100	N	4,0	10			0,15	80	4	N
FN 727	PA66	fl. alloy	1,01		270	65	0,30		50	85	100	N	4,0	10			0,15	80	4	N
ZYTEL – KEVLAR® SFC																				
70K20 HSL	PA66	K20 HL	1,19		290	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,8	1,4	0,2	80	2-4	N
70K20 HSL	PA66	K20 HL	1,19		290	110	0,15	150	50	85	100	N	2,5	15	0,8	1,3	0,2	80	2-4	N

FR = niepalny

G = wzmocniony włóknem szklanym

GB = wzmocniony kulkami szklanymi

H = stabilizowane cieplne

HV = o wysokiej lepkości

K = wzmocniane KEVLAREM®

fl.alloy = elastyczny

L = poprawione wyjmowanie z formy

M = wzmocnione materiałem mineralnym

ST = superwytrzymałe

T = o zwiększonej wytrzymałości

UHV = o bardzo dużej lepkości

UV = stabilizowane na działanie ultrafioletu

EXTR = do wytłaczania

N – Niskie

Ś – Średnie

W – Wysokie

Campus – międzynarodowy system danych o tworzywach, niezależny od producentów tworzyw.

Warunki przetwórstwa tworzywa MINLON®

Gatunek	Material	Uwagi	Gęstość w stanie stałym g/cm ³	Gęstość w stanie stopionym g/cm ³	Zalecana temperatura przetwórstwa °C	Zalecana temperatura gniazda formy °C	Maksymalna prędkość obwodowa ślimaka m/s	Prędkość czola przepływu mm/s	Ciśnienie docisku			Ciśnienie spiętrzania NŚW	Czas docisku < 3 mm s/mm	Maks. czas przebywania tworzywa w cylindrze min	Skurcz zmierzony na próbkach testowych		Maks. wilgotność %	Suszenie		Campus Grudzień '94 T/N
									Min. MPa	Zalec MPa	Max MPa				Wzdłużny %	Poprzeczny %		temp °C	czas godz.	
10B140	PA66	M40	1,50	1,28	295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	1	1	0,2	80	2-4	T
11C140	PA66	M40 T	1,46	1,27	295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	1,4	1,4	0,2	80	2-4	T
13T2	PA66	M30 T	1,36	1,18	295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	1,4	1,6	0,2	80	2-4	T
13MM	PA66	M16 T	1,24		295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	8	1,5		0,2	80	2-4	N
14D1	PA66	M26 T	1,35		295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	1,4		0,2	80	2-4	T
73M20	PA6	M20	1,27		270	85	0,20	100	40	70	100	N	3,0	12	0,9	0,9	0,2	80	2-4	T
73M30	PA6	M30	1,35		270	85	0,20	100	40	70	100	N	3,0	12	0,9	0,9	0,2	80	2-4	T
73M40	PA6	M40	1,46		270	85	0,20	100	40	70	100	N	3,0	12	0,8	0,8	0,2	80	2-4	N
21B1	PA66	M34G5	1,47		295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	0,6	1,4	0,2	80	2-4	T
23B1	PA66	MM28G9	1,46		295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	0,6	1,4	0,2	80	2-4	T
EFE6053	PA66	M16G24	1,47	1,25	295	100	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	0,4		0,2	80	2-4	T
73GM30 T	PA6	M20G10	1,35		260	85	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	0,7	1,1	0,2	80	2-4	T
73GM30 HSL	PA6	G10M20 H L	1,38		270	85	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	0,5	0,8	0,2	80	2-4	T
73GM40	PA6	M25G15	1,46		270	85	0,15	100	40	70	100	N	3,0	12	0,6	1,0	0,2	80	2-4	N

¹ Kopolimer ² Blenda

DuPont Poland Sp. z o.o.
ul. Powązkowska 44c
01-797 Warszawa

tel. 022 3200900

fax. 022 3200910

www.plastics.dupont.com

UWAGA:

Informacje przedstawione w niniejszej publikacji oparte są na naszych najnowszych doświadczeniach i podają rzetelnie opracowane wskazówki mające stanowić pomoc dla wykwalifikowanych pracowników. Wskazówkami tymi jednak można się posługiwać tylko na swoją odpowiedzialność. Firma Du Pont nie gwarantuje pomyślnych wyników i nie bierze odpowiedzialności w przypadku stosowania się do tych wskazówek. Publikacja ta nie może być traktowana jako jedyna instrukcja i nie może anulować żadnych dotychczas istniejących patentów czy opracowań w tym zakresie.

Informacje zawarte w niniejszej broszurze odnoszą się wyłącznie do opisanych kompozycji. Środki barwiące i inne dodatki mogą zmienić niektóre lub wszystkie własności tych kompozycji: dotyczy to zarówno tworzyw w kolorze naturalnym jak i barwionych. Dane ujęte w niniejszej broszurze odpowiadają zwykłemu przedziałowi własności produktów, lecz nie należy ich stosować do określania ograniczeń normatywnych ani wykorzystywać jako samodzielnej podstawy opracowywania projektu konstrukcji.

Uwaga: Nie należy używać opisanych produktów w zastosowaniach medycznych wymagających ciągłej implantacji w ludzkim ciele. W przypadku innych zastosowań medycznych należy zapoznać się z publikacją "DuPont Medical Statement", H-50102.